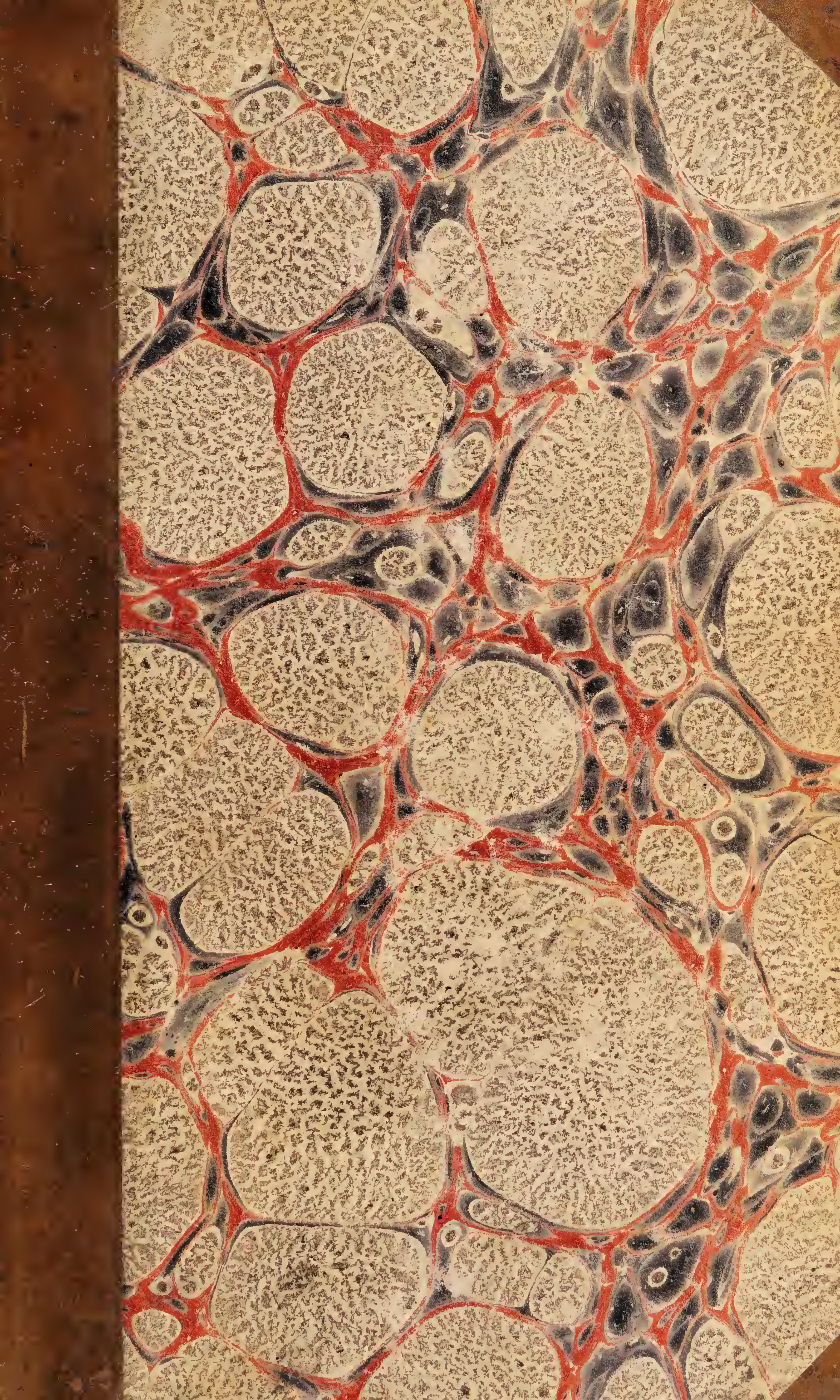
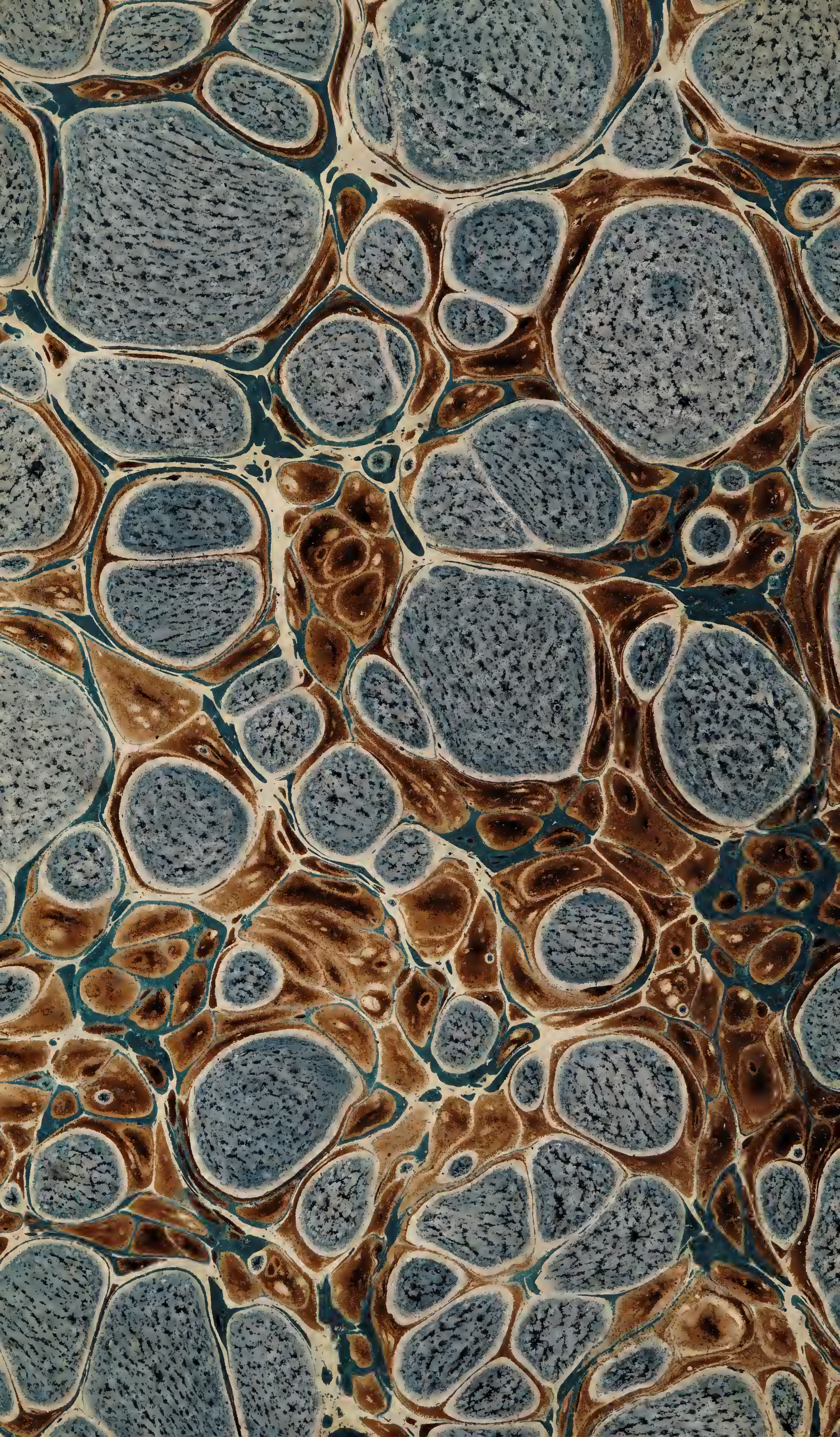
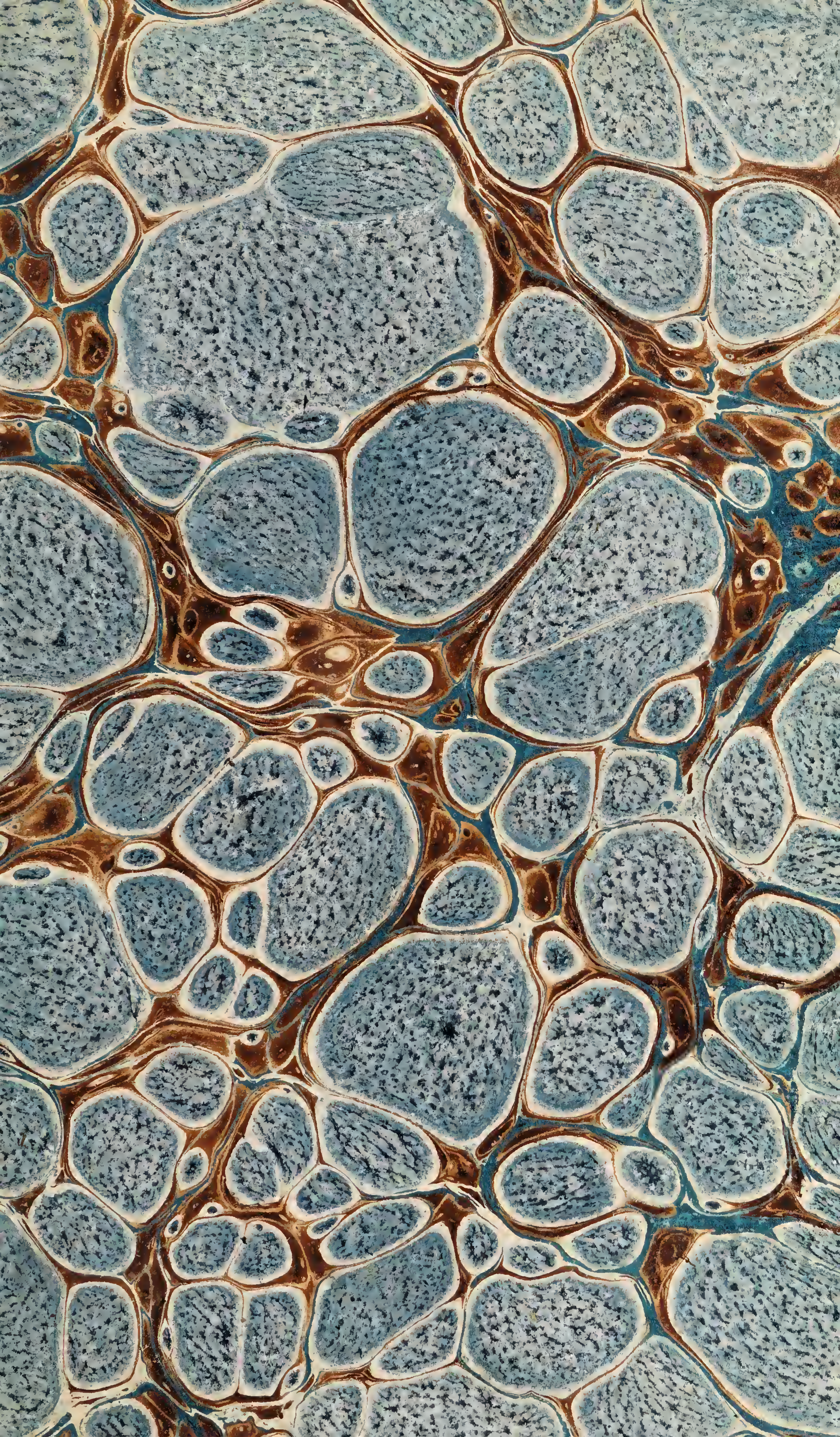






TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.



TOME I.

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 24.

TRAITÉ
EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS ;

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

..............Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti : si non, his utere mecum.

TOME PREMIER.



PARIS.

FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

RUE JACOB, N° 24.



M. DCC CXXXIV.


WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

INTRODUCTION.

Lorsqu'une science a fait de rapides progrès et s'est enrichie d'une foule de faits, qui se trouvent épars dans des recueils scientifiques, il devient souvent difficile, à celui qui désire en suivre le cours, de recueillir tous les documents qui lui sont nécessaires. D'un autre côté, s'il veut se livrer à des recherches expérimentales, il court la chance de regarder comme nouveaux des faits déja connus, et d'être accusé tôt ou tard de plagiat. C'est alors qu'il sent le besoin d'un ouvrage spécial sur la matière; mais la publication d'un semblable travail présente de grandes difficultés lorsqu'il s'agit de l'électricité, qui a des rapports si nombreux avec la chimie et les sciences naturelles; rapports qu'il n'est pas toujours possible de déterminer avec exactitude. En offrant au public un ouvrage sur cette branche de la physique, je ne me suis donc pas dissimulé les obstacles que je rencontrerais; mais l'espoir d'être utile a soutenu constamment mes efforts, et si j'y parviens, mon but aura été rempli.

On a publié, à diverses époques, des traités sur l'électricité qui ont satisfait aux besoins du moment. Priestley a donné une histoire qui jouit toujours de l'estime des physiciens. Parurent ensuite les traités spéciaux de Cavallo, de Sigaud-Lafont, de Singer, et d'autres auteurs dont les noms sont plus ou moins connus.

Les ouvrages publiés récemment sur la physique renferment aussi les principaux faits dont se compose aujourd'hui cette science; mais leurs auteurs n'ont pu exposer avec les détails convenables les découvertes modernes, en raison de leur étendue. Le traité de physique de M. Biot a rendu particulièrement un grand service, en faisant connaître les travaux de Coulomb, relatifs aux lois suivant lesquelles s'exercent les actions électriques et s'opère la distribution du fluide électrique sur la surface des corps. On n'avait avant qu'une idée très-imparfaite des travaux de cet habile physicien, car à l'époque où ils parurent, on n'apprécia pas d'abord toute leur importance. M. Poisson en a rehaussé le mérite en établissant des formules générales qui représentent les faits observés avec une exgrand eactitude. Cet heureux accord entre les résultats de l'expérience et ceux du calcul, en illustrant le physicien et le mathématicien, a prouvé que l'on possédait maintenant une statique électrique qu'aucun fait ne saurait détruire. M. Ampère, en suivant une marche semblable, en s'appuyant sur la découverte fondamentale d'Œrsted et sur d'autres qui lui sont propres, a jeté les bases de l'électricité dynamique.

Je diviserai cet ouvrage en deux parties : la première renfermera les propriétés générales du principe électrique quand il est en repos ou en mouvement, ainsi que celles relatives au magnétisme ; la seconde présentera leurs rapports avec les affinités chimiques et leurs applications à la phosphorescence, aux actions spontanées et à d'autres phénomènes dont l'origine paraît être électrique.

J'ai cru convenable de faire précéder cet ouvrage

d'un précis historique sur l'électricité et le magnétisme, afin de présenter au lecteur, dans un seul cadre, tous les faits dont se composent ces deux sciences, rangés à peu près suivant l'ordre de leur découverte; il pourrra ainsi saisir facilement les rapports qui les lient tous. Cette notice sera divisée en trois périodes : la première comprendra tout ce qui a été fait depuis Thalès jusqu'en 1790, époque de la découverte du galvanisme.

La deuxième, toutes les observations depuis cette dernière époque jusqu'à 1820, année de la découverte de l'électro-magnétisme.

La troisième s'étendra jusqu'à ce jour.

Je me suis efforcé de réunir le plus de faits qu'il m'a été possible, et de présenter, sous un même point de vue, les phénomènes les plus importants qui se rattachent aux propriétés générales du principe électrique, soit qu'on le considère ou non comme puissance génératrice de la chaleur, de la lumière, du magnétisme et des actions chimiques; j'ai été forcé par là d'exposer, avec de grands développements, tout ce qui est relatif au dégagement de l'électricité et à ses effets physiques et chimiques.

Je ne puis me flatter de n'avoir fait aucune omission, car les faits sont si nombreux et épars dans un si grand nombre d'ouvrages et de recueils scientifiques, qu'il peut très-bien se faire que des observations importantes m'aient échappé; mais cet oubli n'aura jamais été volontaire.

Je me suis tenu en garde, autant que possible, contre l'esprit de système qui, dans certaines limites, conduit quelquefois à d'heureux résultats, mais qui

ne peut qu'égarer quand on y attache trop d'importance. L'expérience a donc été constamment mon guide, et si j'ai émis quelquefois des idées théoriques, je ne les ai considérées que comme des échafaudages propres à classer les faits pour en faciliter l'étude. Je crois que l'on ne doit pas rejeter entièrement une marche semblable; car lorsqu'on crée des systèmes, dans l'espoir d'expliquer des phénomènes, les efforts que l'on tente pour en démontrer l'exactitude, conduisent souvent à des faits nouveaux qui servent plus tard de points de repère à d'autres observateurs, pour reculer les limites de nos connaissances. Voilà, en général, comme marchent les sciences d'observation.

J'ai évité le plus possible d'introduire des calculs qui eussent entravé la marche de l'ouvrage. Cependant j'ai toujours eu l'attention de placer à côté des résultats de l'expérience, ceux qui sont déduits de l'analyse mathématique, pour que l'on pût juger jusqu'à quel point celle-ci représentait la véritable théorie. La première partie de l'ouvrage est seule accessible à l'analyse, excepté cependant ce qui est relatif au dégagement de l'électricité; quant à la seconde, les phénomènes sont si compliqués que leur mise en équation dépasse les ressources dont l'analyse peut disposer jusqu'ici.

L'électro-chimie en est un exemple : les faits qui s'y rapportent varient en raison de circonstances si fugitives, qu'il est souvent impossible d'apercevoir toutes les causes qui concourent à l'effet général; mais si un jour un physicien avait le bonheur d'en découvrir toutes les lois, il aurait fait le premier pas pour pénétrer dans le sanctuaire de la nature; il

pourrait alors établir des rapports certains entre les forces électriques et les forces chimiques, et nous dire en quoi consistent les affinités et l'attraction moléculaire.

Les philosophes ont discuté long-temps sur l'existence d'un principe unique qui régit l'univers, et l'on voit encore de nos jours des personnes disposées à soutenir cette opinion; elles trouvent dans le fluide électrique l'agent générateur de tous les phénomènes; mais l'expérience est là pour prouver que si cet agent joue un rôle important, il est bien loin d'être le seul, car le système de la nature dépend de plusieurs principes que nous ne connaissons qu'imparfaitement et sur le rapport desquels nous n'avons que peu de notions. Comment, d'après cela, ose-t-on dévoiler tous ces systèmes, en ne prenant pour guide que son imagination? ne sait-on pas que, pour arriver aux causes, il faut découvrir les effets? Réunissons donc le plus de faits qu'il nous sera possible; ce sont autant de matériaux qui serviront un jour à élever l'édifice.

Pour éviter des recherches fastidieuses aux personnes qui voudront approfondir les phénomènes dépendants de l'électricité, j'ai rapporté, par ordre de date, dans les tableaux suivants, les titres des principaux mémoires qui ont paru, depuis environ cinquante ans, dans la plupart des recueils scientifiques de l'Europe sur l'électricité, le magnétisme, la phosphorescence, et les actions spontanées.

MÉMOIRES

DE L'ANCIENNE ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS.

LAVOISIER ET LAPLACE. 1781. Mémoire sur l'électricité qu'absorbent les corps qui se réduisent en vapeurs.

COULOMB. 1785. Premier Mémoire sur l'électricité et le magnétisme. Construction et usage de la balance électrique. Détermination de la loi suivant laquelle les corps chargés d'électricité contraire se repoussent mutuellement, etc.; p. 569.

1785. Deuxième Mémoire. Détermination des lois suivant lesquelles le fluide magnétique ainsi que le fluide électrique agissent par attraction et répulsion, etc.; p. 578.

1785. Troisième Mémoire. De la quantité d'électricité qu'un corps isolé perd dans un temps donné par le contact de l'air plus ou moins humide; p. 612.

1786. Quatrième Mémoire. Le fluide électrique ne se répand dans aucun corps par une affinité chimique; p. 67.

1787. Cinquième Mémoire. Sur la manière dont le fluide électrique se partage entre deux corps conducteurs mis en contact, etc.; p. 421.

1788. Sixième Mémoire. Suite du précédent article; p. 617.

1789. Septième Mémoire. Sur l'électricité et le magnétisme; p. 455.

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE.

HAUY. An 4, T. I. Observations sur la structure des cristaux appelés zoolithes, et sur les propriétés électriques de quelques-uns; p. 49.

COULOMB. An 9. Détermination théorique et expérimentale des forces qui ramènent différentes aiguilles aimantées à saturation, à leur méridien

magnétique ; T. III, p. 176.

COULOMB. 1803. Nouvelle méthode de déterminer l'inclinaison de l'aiguille aimantée ; T. IV, p. 165.

BIOT. 1804. Rapport sur les expériences du citoyen Volta ; T. V, p. 195.

COULOMB. 1805. Résultat des différentes méthodes employées pour donner aux lames et aux barreaux d'acier le plus grand degré de magnétisme ; T. VI, p. 399.

SAGE. 1806. Observations sur du bleu martial fossile cristallisé ; T. VII, p. 99.

POISSON. 1811. Premier Mémoire sur la distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs ; T. XII, p. 1.

POISSON. 1811. Deuxième Mémoire ; p. 163.

POISSON. 1821 et 1822. Premier Mémoire sur la théorie du magnétisme ; p. 247.

POISSON. *Idem*. Deuxième Mémoire ; p. 488.

AMPÈRE. 1823. Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques ; p. 175.

POISSON. 1823. Sur la théorie du magnétisme en mouvement ; p. 441.

MORLET. Mémoire sur la détermination de l'équateur magnétique et sur les changements qui sont survenus dans le cours de cette courbe, depuis 1776 jusqu'à nos jours ; T. III, p. 132, des sav. étr.

SCORESBY. De quelques effets extraordinaires que la foudre a produits sur un paquebot ; T. IV, p. 697, des sav. étr.

ANNALES DE CHIMIE.

PROUST. Argent exposé à l'air, altération qu'il éprouve, substance qui se forme à sa surface ; T. I, p. 198.

FUCHS. L'efflorescence des murs construits avec des pierres d'ardoise donne, à l'analyse, du sulfate de manganèse mélangé de sulfate de chaux ; T. X, p. 229.

BAUDINS. Action du fluide électrique sur le mercure ; T. XIII, p. 220.

TROMMSDORFF. Description d'un cristal de roche trouvé dans un vase contenant de la liqueur de cailloux au bout de 8 ans ; T. XXII, p. 117.

SPALLANZANI. Examen sur la lumière du phosphore ; la phosphorescence se renfonce par des secousses suivant la volonté de l'animal ; T. XXII, p. 254.

HUMBOLDT. Polarité magnétique dont jouit la serpentine verte ; T. XXII, p. 47.

VAN-MONS. Extrait d'une lettre

de Volta sur l'électricité animale, etc.; T. XXIII, p. 276 et 301.

Carradori. Sur les bois phosphoriques; T. XXIV, p. 218.

Guyton. Prisme basaltique qui a la propriété magnétique; T. XXIV, p. 160.

Guyton. Polarité magnétique de la serpentine du Palatinat; T. XXIV.

Scherer. Spath pesant dont l'acide sulfurique s'est décomposé et a laissé le soufre à nu; T. XXVI, p. 118.

Pearson. Examen de la décomposition de l'eau au moyen de l'étincelle électrique; T. XXVII, p. 161.

Volta. Procédé pour rendre sensible au moyen du duplicateur l'électricité qui est excitée par le simple contact réciproque de métaux différents; T. XXIX, p. 91.

G. Henry. Le gaz hydrogène carboné augmente de volume par l'étincelle électrique; T. XXIX, p. 114.

Pfaff. L'eau est le principal agent de l'électricité galvanique.

Morgan. Tableau de la faculté conductrice de l'eau pour l'électricité comparée à celle de l'alcool; T. XXXIV, p. 96.

Desonnes. Expériences et observations sur les phénomènes physiques et chimiques que présente l'appareil électrique de Volta; T. XXXVII, p. 284.

Lehot. Ordre dans lequel les métaux sont classés comme conducteurs de l'électricité; T. XXXVII, p. 285.

Volta. De l'électricité dite galvanique; T. XL, p. 227. Organe électrique du gymnote; T. XL, p. 255.

Appareil électro-moteur de Trommsdorff; T. XLI, p. 3. Appareil de Ritter, p. 106. Électro-moteur de Cruikshanks, p. 65.

Van Marum. Sur la décomposition de l'eau par la machine électrique; T. XLI, p. 77.

Le gaz hydrogène carboné, traité par le gaz oxigène et l'étincelle électrique, est décomposé; T. XLIII, p. 1.

Davy. Expériences relatives à l'action de l'électricité galvanique sur la production de la chaleur et aux changements qu'elle occasionne dans différents milieux; T. XLIV, p. 206.

Hisinger et Berzelius. Expériences galvaniques; T. LI, p. 167.

Robertson. L'aiguille de déclinaison perd son horizontalité à une certaine hauteur dans l'atmosphère; T. LII, p. 134.

Gay-Lussac. Voyage aérostatique; T. LII, p. 75.

Humboldt et Gay-Lussac. Expériences sur la torpille; T. LVI, p. 15.

Grotthuss. Sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution par l'étincelle électrique; T. LVIII, p. 55.

Baconio. Pile galvanique entièrement composée de substances végétales; T. LXII, p. 212.

Davy. Les pouvoirs électriques décomposants agissent même

sur les substances végétales vivantes; leur action dans l'acte de la germination, etc.; T. LXIII, p. 223, 253, 261.

GUYTON. De l'influence de l'électricité galvanique sur le passage des minéraux; T. LXIII, p. 119.

WEISS. Extrait d'un ouvrage allemand de Ritter sur le système électrique des corps; T. LXIV, p. 68.

BRUGNATELLI. Sur quelques propriétés particulières du charbon; pile galvanique faite avec du charbon, etc.; T. LXIV, p. 314.

GROTTHUSS. La lumière du ver luisant s'éteint dans presque tous les gaz; T. LXIV, p. 38.

PFAFF. A obtenu une colonne voltaïque avec trois liquides non métalliques; T. LXV, p. 331.

BUCHOLZ. Sur l'action galvanique des chaînes galvanico-électriques simples formées de dissolutions métalliques, d'eau ou d'acide, et d'un métal, et sur la désoxidation des oxides métalliques opérée par ce moyen; T. LXVI, p. 266.

DAVY. Changements chimiques produits par l'électricité, particulièrement la décomposition des alcalis fixes; T. LXVIII, p. 206.

WOLLASTON. De l'influence de l'électricité sur les sécrétions animales; T. LXXIV, p. 298.

GAY-LUSSAC. Extrait d'un mémoire sur la fermentation; de l'effet de l'électricité sur le moût; T. LXXVI, p. 257.

BERZELIUS. Regarde l'électricité comme principe de l'affinité; T. LXXIX, p. 249.

BERZELIUS. De l'influence de l'électricité sur les affinités; T. LXXXVI, p. 159.

AVOGRADO. Ses réflexions sur la théorie électro-chimique de M. Berzelius; T. LXXXVII, p. 286.

TH. DE SAUSSURE. Analyse de l'éther sulfurique dans l'eudiomètre de Volta; T. LXXXIX, p. 294.

GUYTON MORVEAU. Sur quelques cas d'éjections d'urine phosphorescente; T. LXXXIX, p. 182.

Explication de la diminution de volume que l'étincelle électrique produit dans le mélange d'oxigène et de vapeurs prussiques; T. XCV, p. 151.

Appareil de Children; T. XCVI, p. 120.

ANNALES

DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE.

J. P. DESSAIGNES. Faits relatifs à l'influence de la température, des pressions mécaniques et du principe humide, sur l'intensité du pouvoir électrique et sur le changement

de nature de l'électricité ; T. II, p. 59.

.... Sur les piles sèches voltaïques ; T. II, p. 76.

R. PORRET JUNIOR. Expériences galvaniques curieuses, T. II, p. 137.

RIDOLFI. Nouvelles expériences tendant à démontrer qu'il existe une force magnétisante dans l'extrémité violette du spectre solaire. ; T. III, p. 323.

GAY-LUSSAC. Description d'un eudiomètre de Volta ; T. IV, p. 188.

VOLTA. Sur le retour périodique des orages et sur le vent très-froid et extraordinairement sec qui se fait sentir plusieurs heures après ceux qui sont accompagnés de grêle ; T. IV, p. 245.

HAUY. Sur l'électricité de pression ; T. V, p. 95.

.... Note historique sur les piles sèches ; T. V, p. 181.

SCHWEIGER ET LEFRANC. Idées sur les changements de polarité d'une pile galvanique, sur la lumière magnétisante de la lumière violette ; T. VI, p. 379 à 412.

.... Observations magnétiques faites à bord des bâtiments envoyés vers le pôle nord par le gouvernement anglais ; T. IX, p. 214.

.... Sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée ; T. X, p. 119.

DHOMBRES FIRMAS. Sur la vertu magnétisante qu'on a attribuée au rayon violet ; T. X, p. 285.

ZAMBONI. Nouvelle pile à deux éléments et perfectionnements de la pile sèche ; T. XI, p. 190.

ALEX. DE HUMBOLDT. Sur les gymnotes et autres poissons électriques ; T. XI, p. 408.

ANDREW URE. Exposé des expériences faites sur le corps d'un criminel immédiatement après l'exécution ; T. XIV, p. 337.

OERSTED. Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée ; T. XIV, p. 417.

ARAGO. Expériences relatives à l'aimantation du fer et de l'acier par l'action du courant électrique ; T. XV, p. 93.

AMPÈRE. Suite du Mémoire sur l'action mutuelle entre deux courants électriques, un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre et entre deux aimants ; T. XV, p. 170.

BIOT. Note sur le magnétisme de la pile de Volta ; T. XV, p. 222.

WOLLASTON. Sur la production de l'électricité et sur son action chimique ; T. XVI, p. 45.

.... Sur les variations annuelles de l'aiguille aimantée et sur son mouvement actuellement rétrograde ; T. XVI, p. 54.

BOHNENBERGER. Description et usage d'un électromètre très-sensible qui indique l'espèce de l'électricité dont il accuse la présence ; T. XVI, p. 91.

BERZELIUS. Lettre à M. Berthollet sur l'état magnétique des corps qui transmettent un courant d'électricité ; T. XVI. p. 113.

AMPÈRE. Lettre à M. Arago sur

le même sujet; T. XVI, p. 119.
Macaire. Mémoire sur la phosphorescence des lampyres; T. XVII, p. 151.
Hansteen. Nouvelles observations relatives au magnétisme; T. XVII, p. 326.
Ampère. Note sur un appareil à l'aide duquel on peut vérifier toutes les propriétés des conducteurs de l'électricité voltaïque; T. XVIII, p. 88.
Faraday. Sur les mouvements électro-magnétiques et la théorie du magnétisme; T. XVIII, p. 337.
.... Sur la guérison d'une paralysie par un coup de tonnerre; T. XIX, p. 67.
.... Sur des tubes vitreux qui paraissent produits par des coups de foudre; T. XIX, p. 290.
.... Sur le mouvement rétrograde de l'aiguille aimantée; T. XIX, p. 437.
Ampère. Expériences relatives à de nouveaux phénomènes électro-dynamiques; T. XX, p. 60.
Lassaigne. Note sur la précipitation de l'albumine au pôle positif de la pile de Volta; T. XX, p. 97.
Barlow. Sur les vertus magnétiques du fer et de l'acier incandescents; T. XX, p. 107.
Davy. Sur des phénomènes électriques dans le vide; T. XX, p. 168.
Delarive. Lettre à M. Arago sur de nouvelles expériences relatives aux actions des courants galvaniques; T. XX, p. 269.
Ampère. Mémoire sur la détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques; T. XX, p. 398.
Barlow. Nouveau détail sur les actions magnétiques du fer et de l'acier incandescents; T. XX, p. 427.
Delarive. Sur l'action qu'exerce le globe terrestre sur une portion mobile du circuit voltaïque; T. XXI, p. 24.
.... Examen de l'opinion adoptée par quelques marins qu'un grand froid détruit la vertu magnétique des aiguilles de boussole; T. XXI, p. 439.
Becquerel. Sur le développement de l'électricité par la pression; lois de ce développement; T. XXII, p. 5.
Savary. Extrait d'un mémoire sur les phénomènes électro-dynamiques; T. XXII, p. 91.
Becquerel. Sur des fils très-fins de platine et d'acier et sur la distribution du magnétisme libre dans ces derniers; T. XXII, p. 113.
Seebeck. Nouvelles expériences sur les actions électro-magnétiques; T. XXII, p. 199.
Œrsted. Expérience électro-magnétique; T. XXII, p. 201.
Wilson. Philip. Résultats relatifs à l'influence d'une batterie voltaïque considérée comme un moyen de prévenir les effets qui résultent de la section des nerfs de la huitième paire; T. XXII, p. 216.
Œersted. Sur le multiplicateur électro-magnétique de

Schweiger et sur quelques applications qu'on en a faites; T. XXII, p. 358.

Fourier et Œrsted. Sur quelques nouvelles expériences thermo-électriques; T. XXII, p. 375.

Faraday. Lettre à M. Ampère, T. XXII, p. 389.

.... Sur la lumière produite par la décharge du fusil à vent; T. XXII, p. 436.

Becquerel. Du développement de l'électricité par le contact de deux portions d'un même métal dans un état suffisamment inégal de température, et de quelques effets électriques qui naissent dans les combinaisons chimiques; T. XXIII, p. 135.

Prévôt et Dumas. Note sur l'emploi de la pile dans le traitement des calculs de la vessie; T. XXIII, p. 202.

Becquerel. Des effets électriques qui se développent pendant diverses actions chimiques; T. XXIII, p. 244 et 259.

Prévôt. Lettre à M. Arago sur le traitement des calculs urinaires par la pile; T. XXIII, p. 334.

Savary. Nouveau résultat obtenu sur les phénomènes électro-dynamiques; T. XXIII, p. 413.

Barlow. Nouvelles observations sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée; T. XXIII, p. 415.

Dulong et Thénard. Note sur la propriété que possèdent quelques métaux de faciliter la combinaison des fluides élastiques; T. XXIII, p. 440.

Dœbereiner. Propriétés nouvelles et remarquables reconnues au sous-oxide de platine, au sulfure oxidé et à la poussière du même métal; T. XXIV, p. 91.

Vauquelin. Note sur la présence de l'ammoniaque dans les oxides de fer, formés dans l'intérieur des maisons habitées; T. XXIV, p. 99.

Becquerel. De l'état de l'électricité développée dans les actions chimiques et de la mesure de ces dernières au moyen des effets électriques qui en résultent; T. XXIV, p. 192.

Silliman. Fusion du charbon, de la plombagine, de l'anthracite et du diamant; T. XXIV, p. 216.

Becquerel. D'un système de galvanomètre propre à rendre sensible de très-faibles quantités d'électricité, et des courants électriques qui ont lieu dans les actions capillaires et les dissolutions; T. XXIV, p. 337.

Thénard et Dulong. Nouvelles observations sur les propriétés dont jouissent certains corps de favoriser la combinaison des fluides élastiques; T. XXIV, p. 380.

Davy. Sur un nouveau phénomène électro-magnétique; T. XXV, p. 64.

W. H. Pepys. Sur un appareil d'une construction particulière propre à faire des expériences électro-magnétiques; T. XXV, p. 217.

Becquerel. Des actions magné-

tiques ou actions analogues produites dans tous les corps par l'influence de courants électriques très-énergiques; T. XXV, p. 269.

Erman. Notice sur une réciprocité d'actions isolantes et conductrices que le platine incandescent de la lampe aphlogistique de Davy exerce sur les deux électricités; T. XXV, p. 278.

Humboldt. Lettre à Becquerel sur le magnétisme polaire d'une montagne de chloriste schisteuse et de serpentine.

Ampère et Dulong. Rapport sur un mémoire de Rousseau relatif à un nouveau moyen de mesurer la conductibilité des corps pour l'électricité; T. XXV, p. 373.

Becquerel. Des actions électro-motrices produites par le contact des métaux et des liquides et d'un procédé pour reconnaître, à l'aide des effets électro-magnétiques, les changements qu'éprouvent certaines dissolutions au contact de l'air; T. XXV, p. 405.

Davy. Sur la corrosion du cuivre qui forme le doublage des vaisseaux; T. XXVI, p. 84.

Becquerel. Développement relatif aux effets électriques observés dans les actions chimiques et de la distribution de l'électricité dans la pile de Volta, en tenant compte des actions électro-motrices des liquides sur les métaux; T. XXVI, p. 176.

Gay-Lussac. Instruction sur les paratonnerres; T. XXVI, p. 258.

Ampère. Description d'un appareil électro-dynamique; T. XXVI, p. 390.

Becquerel. Des actions électro-motrices de l'eau et des liquides en général sur les métaux; des effets électriques qui ont lieu : 1° dans le contact de certaines flammes et des métaux; 2° dans la combustion; T. XXVII, p. 5.

Ampère et Becquerel. Note sur une expérience relative à la nature des courants électriques; T. XXVII, p. 29.

.... De l'électricité produite pendant la congélation de l'eau; T. XXVII, p. 111.

Becquerel. Sur les effets électro-dynamiques produits pendant la décomposition de l'eau oxigénée par divers corps, et sur d'autres phénomènes électro-chimiques; T. XXVIII, p. 16.

David Brewster. Observation sur les minéraux pyro-électriques; T. XXVIII, p. 161.

Delarive. Sur quelques-uns des phénomènes que présente l'électricité voltaïque dans son passage à travers les conducteurs liquides; T. XXVIII, p. 190.

J. F. W. Herschell. Sur certains mouvements produits dans les liquides conducteurs lorsqu'ils transmettent le courant électrique; T. XXVIII, p. 280.

Faraday. Sur quelques circonstances de la formation de l'ammoniaque; T. XXVIII, p. 435.

Davy. Expériences et observations additionnelles sur l'ap-

plication des combinaisons électriques à la conservation du doublage en cuivre des vaisseaux et à d'autres objets; T. XXIX, p. 187.

Zamboni. Rapport fait par M. Ampère sur les piles sèches; T. XXIX, p. 198.

Ampère. Mémoire sur une nouvelle expérience électro-dynamique; T. XXIX, p. 381.

Suite du même Mémoire; T. XXX, p. 29.

Kupffer. Recherches relatives à l'influence de la température sur les forces magnétiques; T. XXX, p. 113.

Becquerel. Recherches sur les effets électriques de contact produits dans les changements de température et application qu'on peut en faire à la détermination des hautes températures; T. XXXI, p. 371.

Mme Somerville. Sur le pouvoir magnétisant des rayons solaires les plus réfrangibles; T. XXXI, p. 393.

Arago. Note concernant les phénomènes magnétiques auxquels le mouvement donne naissance, T. XXXII, p. 213.

Longchamp. Sur une formation de pyrite dans une eau thermale; T. XXXII, p. 294.

Dumas. Sur la lumière qui se développe au moment où l'acide borique fondu se sépare en fragments. T. XXXII, p. 335.

Becquerel. Du pouvoir conducteur de l'électricité dans les métaux et de l'intensité de la force électro-dynamique en un point quelconque d'un fil métallique, qui joint les deux extrémités d'une pile; T. XXXII, p. 420.

Colladon. Déviation de l'aiguille aimantée par le courant d'une machine électrique ordinaire et par l'électricité des nuages; T. XXXIII, p. 62.

Marianini. Expériences électrométriques; T. XXXIII, 113.

Dumas. Note sur l'influence qu'exerce l'électricité développée par le contact des métaux sur les dépôts de carbonate de chaux dans les tuyaux de plomb; T. XXXIII, p. 265.

Davy. Sur les relations qui existent entre les actions électriques et les actions chimiques; T. XXXIII, p. 276.

Savary. Mémoire sur l'aimantation; de l'aimantation produite par les décharges électriques, par les courants voltaïques, etc., etc., T. XXXIV, p. 5.

A. Chevallier. Note sur la présence de l'ammoniaque dans les oxides de fer naturel; T. XXXIV, p. 109.

Becquerel. Des décompositions chimiques opérées avec des forces électriques à très-petite tension; T. XXXIV, p. 153.

Sérullas. Lettre concernant la notice historique publiée par Davy sur les phénomènes électro-chimiques; T. XXXIV, p. 192.

Savary. Addition à son Mémoire sur l'aimantation; T. XXXIV, p. 220.

L. Nobili. Sur une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques; T. XXXIV, p. 280.

Duperrey. Résumé des observations de l'inclinaison et de la déclinaison de l'aiguille aimantée, faites dans la campagne de la corvette *la Coquille* pendant les années 1822, 1823, 1824; T. XXXIV, p. 298.

L. Nobili. Sur une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques; T. XXXIV, p. 419.

Covellì. Sur le bi-sulfure de cuivre, qui se forme actuellement au Vésuve; T. XXXV, p. 105.

Becquerel. De l'électricité dégagée dans les actions chimiques et de l'emploi de très-faibles courants électriques pour provoquer la combinaison d'un grand nombre de corps; T. XXXV, p. 113.

Bouis. Note sur la présence de l'ammoniaque dans les minéraux argileux; T. XXXV, p. 333.

Dutrochet. Nouvelles observations sur l'endosmose et l'exosmose; T. XXXV, p. 393.

Pouillet. Mémoire sur l'électricité des fluides élastiques et sur une des causes de l'électricité de l'atmosphère; T. XXXV, p. 401.

Pouillet. Sur l'électricité qui se développe dans les actions chimiques et sur l'origine de l'électricité de l'atmosphère; T. XXXVI, p. 5.

Delarive. Recherches sur une propriété particulière des conducteurs métalliques de l'électricité; T. XXXVI, p. 34.

Kupffer. Recherches sur la distribution du magnétisme libre dans les barreaux aimantés; T. XXXVI, p. 50.

Becquerel. De quelques phénomènes électriques produits par la pression et le clivage des cristaux. (T. XXXVI, p. 265.)

Becquerel. Sur l'électricité acquise par les fils de métal plongés dans les flammes. (T. XXXVI, p. 328).

Becquerel. Sur les actions magnétiques exercées dans tous les corps par l'influence d'aimants très-énergiques; T. XXXVI, p. 337.

Becquerel. Sur les propriétés électriques de la tourmaline; T. XXXVII, p. 5.

Libri. De l'influence que l'électricité exerce sur l'émanation des odeurs; T. XXXVII, p. 100.

Dutrochet. Nouvelles recherches sur l'endosmose et l'exosmose; T. XXXVII, p. 191.

A. Delarive. Analyse des circonstances qui déterminent le sens et l'intensité du courant électrique dans un aimant voltaïque; T. XXXVII, p. 225.

Expériences sur la formation des tubes fulminaires; T. XXXVII, p. 319.

Becquerel. Des effets de la chaleur dans les corps mauvais conducteurs et dans la tourmaline; T. XXXVII, p. 355.

Marianini. Sur les piles secondaires de Ritter; T. XXXVIII, p. 5.

Van-Beck. Sur un phénomène extraordinaire concernant l'influence continue qu'exerce le contact des métaux hétérogènes sur leurs propriétés chi-

miques, long-temps après que ce contact a cessé; T. XXXVIII, p. 49.

Becquerel. Du dégagement de l'électricité qui résulte du contact de deux métaux; T. XXXVIII, p. 113.

Influence du magnétisme sur les actions chimiques; T. XXXVIII, p. 196.

Nobili. Comparaison entre les deux galvanomètres les plus sensibles, la grenouille et le multiplicateur à deux aiguilles; T. XXXVIII, p. 225.

Marianini. Sur la perte de tension qu'éprouvent les appareils voltaïques, quand on tient le circuit fermé, et sur la manière dont ils recouvrent leur tension primitive, quand on suspend la communication entre les pôles; T. 38, p. 337.

Pile formée avec un seul métal et sans liquide; T. XXXVIII, p. 442.

Haldat. Expériences sur le magnétisme par rotations; T. XXXIX, p. 232.

Œrsted. Sur une méthode électro-magnétique pour essayer l'argent et d'autres métaux; T. XXXIX, p. 274.

Delarive. Extrait d'un Mémoire intitulé : Recherches sur la cause de l'électricité voltaïque; T. XXXIX, p. 297.

Marianini. Mémoire sur la secousse qu'éprouvent les animaux, où ils cessent de servir d'arc de communication entre les pôles d'un électro-moteur, etc.; T. XL, p. 225.

Delarive. Recherches sur les effets calorifiques de la pile; T. XL, p. 371.

Addition au Mémoire concernant les variations diurnes de la durée moyenne des oscillations horizontales de l'aiguille aimantée; T. XL, p. 437.

Becquerel. Sur l'électro-chimie et l'emploi de l'électricité pour opérer des combinaisons; T. XLI, p. 5.

Pfaff. Défense de la théorie de Volta relative à la production de l'électricité par le simple contact; T. XLI, p. 236.

Becquerel. Du pouvoir thermo-électrique des métaux; T. XLI, p. 353.

Davy. Notes sur quelques expériences concernant la torpille; T. XLI, p. 438.

Haldat. Recherches sur la force coercitive des aimants et les figures magnétiques; T. XLII, p. 33.

Parrot. Lettre sur les phénomènes de la pile voltaïque; T. XLII, p. 45.

Becquerel. Rapport sur un Mémoire de M. Donné, concernant l'influence que les phénomènes atmosphériques exercent sur la force des piles sèches; T. XLII, p. 71.

Becquerel. Note sur la décomposition du sulfure de soufre à l'aide de l'électricité; T. XLII, p. 76.

Marianini. Sur une analogie qui existe entre la propagation de la lumière et celle de l'électricité, etc.; T. XLII, p. 131.

Becquerel. Sur les sulfures, iodures, bromures, etc. métalliques; T. XLII, p. 225.

P. Riess et F. Moser. Sur le pouvoir magnétisant des

rayons solaires; T. XLII, p. 304.

Becquerel. Mémoire sur de nouveaux effets électro-chimiques propres à produire des combinaisons, et sur leur application à la cristallisation du soufre et d'autres substances; T. XLIII, p. 131.

Nobili. Sur la mesure des courants électriques ou projet d'un galvanomètre comparable; T. XLIII, p. 146.

Marianini. Note sur un phénomène physiologique produit par l'électricité; T. XLIII, p. 320.

John Davy. Observation concernant l'action que les acides minéraux exercent sur le cuivre dans diverses circonstances; T. XLIII, p. 327.

Becquerel. Lettre à M. Gay-Lussac, concernant le Mémoire précédent; T. XLIII, p. 333.

Becquerel. Sur un procédé électro-chimique pour retirer le manganèse et le plomb des dissolutions dans lesquelles ils se trouvent; T. XLIII, p. 380.

A. Delarive. Note relative à l'action qu'exerce sur le zinc l'acide sulfurique étendu d'eau; T. XLIII, p. 425.

Nobili. Analyse expérimentale et théorique des phénomènes physiologiques produits par l'électricité sur la grenouille; avec un appendice sur la nature du tétanos et de la paralysie, et sur les moyens de traiter ces deux maladies par l'électricité; T. XLIV, p. 60.

Thénard. Observations sur la lumière qui jaillit de l'air et de l'oxigène par compression; T. XLIV, p. 181.

Alex. de Humboldt. De l'inclinaison de l'aiguille aimantée dans le nord de l'Asie, et des observations correspondantes des variations horaires faites en différentes parties de la terre; T. XLIV, p. 231.

Suite et fin du Mémoire du docteur Étienne Marianini sur la théorie chimique des électro-moteurs voltaïques simples et composés; Tome XLV, p. 113.

Ch. Matteucci. Sur la décomposition des sels métalliques à l'aide de la pile voltaïque; T. XLV, p. 322.

L. E. Duperrey. Notice sur la configuration de l'équateur magnétique conclue des observations faites dans la campagne de la corvette *la Coquille*; T. XLV, p. 371.

Becquerel. Considérations générales sur les changements qui s'opèrent dans l'état électrique des corps, par l'action de la chaleur, du contact, du frottement et de diverses actions chimiques, et sur les modifications qui en résultent quelquefois dans l'arrangement de leurs parties constituantes; Ire partie, T. XLVI, p. 265 et 337.

Parrot. Observations relatives au Mémoire de É. Marianini, sur la théorie chimique des électro-moteurs voltaïques simples et composés, insérées dans les Annales de chimie et de physique; Tome XLVI, p. 361.

Becquerel. Du carbonate de chaux cristallisé et de l'action

simultanée des matières sucrées ou mucilagineuses sur quelques oxides métalliques par l'intermédiaire des alcalis et des terres; T. XLVII, p. 5.

BECQUEREL. Considérations générales sur les changements qui s'opèrent dans l'état électrique des corps, par l'action de la chaleur, du contact, du frottement et de diverses actions chimiques, et sur les modifications qui en résultent quelquefois dans l'arrangement de leurs parties constituantes; T. XLVII, p. 113. IIme partie.

NOBILI ET MELLONI. Recherches sur plusieurs phénomènes calorifiques, entreprises au moyen du thermo-multiplicateur; T. XLVIII, p. 198.

BECQUEREL. Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques et la réduction de l'oxide de fer, de la zircone et de la magnésie, à l'aide de forces électriques peu énergiques; T. XLVIII, p. 337.

BECQUEREL. Considérations générales sur les changements qui s'opèrent dans l'état électrique des corps par l'action de la chaleur, du contact, du frottement et de diverses actions chimiques, et sur les modifications qui en résultent dans l'arrangement de leurs parties constituantes; IIIme partie; T. XLIX, p. 131.

PEARSEAL. Des effets que produit l'électricité sur les minéraux que la chaleur rend phosphorescents; T. XLIX, p. 337.

DUTROCHET. Recherches sur l'endosmose et sur la cause physique de ce phénomène; T. XLIX, p. 411.

FARADAY. Recherches expérimentales sur l'électricité; T. L, p. 5; Id., p. 113.

NOBILI ET ANTINORI. Nouvelles expériences électro-magnétiques; T. L, p. 280.

PAYEN. Nouveau moyen de préserver le fer et l'acier de l'oxidation; T. L, p. 305.

PELOUZE. Mémoire sur l'influence qu'exerce la présence de l'eau dans un grand nombre de réactions chimiques; T. L, p. 314.

PIXII fils. Nouvelle construction d'une machine électro-magnétique; T. L, p. 322.

MOLL. Sur la force magnétique que peuvent prendre des barreaux de fer doux sous l'influence des courants électriques; T. L, p. 314.

.... Sur l'influence de la grandeur des éléments voltaïques pour développer la force magnétique dans le fer doux; T. L, p. 331.

PELOUZE. Suite du Mémoire sur l'influence qu'exerce la présence de l'eau dans un grand nombre de réactions chimiques; T. L, p. 434.

BECQUEREL. De la cristallisation de quelques oxides métalliques; T. LI, p. 101.

MARIANINI. Sur les phénomènes que présente un arc métallique plongeant par des surfaces inégales ses extrémités dans deux portions séparées d'un même fluide, lorsqu'il sert à conduire l'électricité de l'un à l'autre; T. LI. p. 130.

Boussingault. Recherches sur les phénomènes chimiques qui se passent dans l'amalgamation américaine; T. LI, p. 337.
Becquerel. Premier Mémoire sur l'application des forces électro-chimiques à la physiologie végétale; T. LII, p. 240.
Becquerel. Du sulfure de plomb cristallisé; T. LIII. p. 105.
Quetelet. Recherches sur les degrés successifs de force magnétique qu'une aiguille d'acier reçoit pendant les frictions multiples qui servent à l'aimanter; T. LIII, p. 248.

JOURNAL DE PHYSIQUE.

Proust. Action des eaux de la mer sur l'argent; T. XXX, p. 96.
...... Chocolat. Sur son électricité; T. XXX, p. 431.
Geanty. Observations relatives à la production de l'électricité dans les pays chauds; T. XXXI, p. 286.
Inghenhouz. De l'influence de l'électricité atmosphérique sur les végétaux; T. XXXII, p. 321.
.... Sur une nouvelle manière de préparer l'amalgame électrique; T. XXXIII, p. 96.
Van Marum. Expériences sur la cause de l'électricité des substances fondues et refroidies; T. XXXIII, p. 248.
Cormoy. Action de l'électricité sur les végétaux; T. XXXIII, p. 339.
Inghenhouz. Effet de l'électricité sur les plantes; T. XXXV, p. 81.
Cormoy. Effet de l'électricité sur la végétation; T. XXXV, p. 161.
Rozières. Essai sur cette question : Quelle est l'influence de l'électricité sur la germination et la végétation des plantes? T. XXXVIII, p. 351.
Chappe. Nouvelles expériences qui tendent à prouver que l'électricité ne favorise pas sensiblement l'accroissement des parties animales; T. XL, p. 62.
Galvani. Précis de ses expériences; T. XLI, p. 57.
Cormoy. Mémoire sur l'écoulement électrique des fluides dans les vaisseaux capillaires; T. XLI, p. 106.
Fabroni. Sur l'action de différents métaux à la température commune de l'atmosphère, et explication de quelques phénomènes galvaniques; XLIX, p. 348.
Cruiskhanks. Expériences sur l'électrécité galvanique; T. LI, p. 164.

KLAPROTH. Sur la décomposition du sel marin par le galvanisme; T. LII, p. 322.

BIOT. Sur le mouvement du fluide électrique; T. LIII, p. 264.

ERMAN. Sur les expériences électro-magnétiques de la colonne de Volta; T. LIII, p. 121.

VOLTA. Lettre sur les phénomènes galvaniques; T. LIII, p. 309.

COULOMB. Expériences qui prouvent que tous les corps obéissent à l'action magnétique, et que l'on peut même mesurer l'influence de cette action sur les différentes espèces de corps; T. LIV, p. 240, 367 et 454.

CIRCANS. Note sur l'influence galvanique sur la fibrine du sang; T. LV, p. 402.

GEOFFROY SAINT-HILAIRE. Extrait d'un Mémoire où l'on compare les organes électriques de certains poissons; T. LVI, p. 242.

A. M. VASSALLI-EANDI. Rapport présenté à la classe des sciences exactes de l'Académie de Turin, sur l'action du galvanisme et sur l'application de ce fluide et de l'électricité à l'art de guérir; T. LVI, p. 305.

GAUTHEROT. Recherches sur les causes qui développent l'électricité dans les appareils galvaniques; T. LVI, p. 429.

ALLUAU aîné. Essai sur la décomposition des roches; T. LVI, p. 436.

.... Description du grand appareil galvanique de M. Pepys; T. LVII, p. 116.

RITTER. Expériences sur un appareil à charger d'électricité avec la colonne électrique de Volta; T. LVII, p. 345.

RITTER. Expériences avec la pile électrique; T. LVII, p. 401 et suivantes.

VASSALI-EANDI. Recherches sur la nature galvanique; T. LIX, p. 241.

GAY-LUSSAC ET BIOT. Extrait de la relation d'un voyage aérostatique; T. LIX; p. 314.

COTTE. Déclinaison de l'aiguille aimantée; T. LIX, p. 390.

HUMBODLT ET BIOT. Sur l'inclinaison de l'aiguille aimantée; T. LIX, p. 429.

A. AVOGADRO. Considérations sur l'état dans lequel se trouve une couche d'un conducteur de l'électricité, lorsqu'elle est interposée entre deux surfaces douées d'électricité de différente nature; T. LXIII p. 450.

H. DAVY. Mémoire sur quelques effets chimiques d'électricité; T. LXIV, p. 421.

LÉOPOLD VACCA. Expériences sur la manière d'aimanter sans aimant naturel ou artificiel; T. LXV, p. 85.

AVOGADRO. Second Mémoire sur l'électricité, ou suite des Considérations sur l'état où se trouve une couche de corps isolateurs, interposés entre deux surfaces douées d'électricité d'espèce contraire; T. LXV, p. 130.

H. DAVY. Sur quelques nouveaux phénomènes de changements chimiques produits par l'électricité, particulièrement la décomposition des alcalis fixes et la séparation des substances nouvelles qui constituent

leurs bases; et sur la nature des alcalis en général; T. LXVII, p. 337.
Dessaignes. Mémoire sur les phosphorescences; T. LXVIII, p. 444.
H. Davy. Recherches électro-chimiques sur la décomposition des terres; avec des observations sur les métaux qu'on obtient des terres alcalines, et sur l'amalgame produit avec l'ammoniaque (Extrait); T. LXVIII, p. 468.
J. P. Dessaignes. Sur l'influence conductrice ou indéférente des corps pour le fluide de la phosphorescence; T. LXIX, p. 169.
Alex. Volta. Mémoire sur la formation de la grêle; T. LXIX, p. 286 et 333.
H. Davy. Recherches électro-chimiques sur la décomposition des terres; avec des observations sur les métaux qu'on obtient des terres alcalines, et sur l'amalgame produit avec l'ammoniaque (suite); Tome LXIX, p. 78.
A. Avogadro. Idées sur l'acidité et l'alcalinéité; T. LXIX, LXIX, p. 142.
H. Davy. Mémoire relatif à quelques nouvelles recherches analytiques sur la nature de certains corps, particulièrement des alcalis, du phosphore, du soufre, de la matière carbonique et des acides qui n'ont point encore été décomposés, avec quelques observations sur la théorie chimique; T. LXIX, p. 360.
Dessaignes. Du pouvoir des pointes sur le fluide de la phosphorescence; T. LXX, p. 109.
H. Davy. Suite des expériences électro-chimiques sur les corps métalliques et sur les combinaisons de l'hydrogène; T. LXX, p. 341.
H. Davy. Observations sur les recherches de MM. Gay-Lussac et Thénard, relativement à l'amalgame de l'ammoniaque; T. LXX, p. 389.
Gay Lussac et Thénard. Répliques; T. LXX, p. 398, 408, 413.
Dessaignes. Sur la propriété lumineuse de tous les corps; T. LXXIII, p. 41.
Schweiger. Sur un moyen de produire le galvanisme par la chaleur; T. LXXIII, p. 157.
Dessaignes. Sur l'origine et la génération du pouvoir électrique tant dans le frottement que dans la pile de Volta; T. LXXIII, p. 230.
Schweiger. Sur les moyens de produire le galvanisme par la chaleur et de produire le sulfure par le galvanisme; T. LXXIII, p. 448.
Dessaignes. Mémoire sur la phosphorescence par collision T. LXXIV, p. 101.
Heinrich-Placidus. Traité de la phosphorescence des corps. Extrait par Vogel; T. LXXIV, p. 307.
Davy. Expériences concernant quelques phénomènes d'électricité galvanique; T. LXXVI, p. 304.
OErsted. Considérations sur les lois chimiques de la nature fondées sur les nouvelles découvertes; T. LXXVI, p. 233.

DESSAIGNES. Sur la phosphorescence des gaz comprimés; T. LXXVII, p. 326.

DAVY. Addition à l'extrait des éléments de philosophie chimique sur l'électricité, le calorique, etc.; T. LXXVII, p. 474.

DESSAIGNES. Mémoire relatif à l'influence de l'air sur le pouvoir électrique; T. LXXVII, p. 207.

DAVY. La figure des molécules des corps dans leur combinaison; T. LXXVIII, p. 224.

OERSTED. Des forces électriques considérées comme des forces chimiques; T. LXXVIII, p. 338.

DESSAIGNES. Phénomènes de répulsion et d'attraction sans électricité; T. LXXXIII, p. 5.

DESSAIGNES. Mémoire relatif à l'influence de la température des pressions mécaniques sur l'intensité du pouvoir électrique et sur le changement et la nature de leur électricité; T. LXXXIII, p. 194.

DESSAIGNES. Sur l'action galvanique; T. LXXXIII, p. 415.

SCHÜLBERT. Recherches sur l'électricité atmosphérique. Extrait; T. LXXXIII, p. 444.

ZAMBONI. Notice sur les appareils électro-moteurs; T. LXXXVI, p. 469.

OERSTED. Expériences sur un effet que le courant de la pile excite dans l'aiguille aimantée; T XCI, p. 72.

BIOT ET SAVARD. Sur la mesure de l'action exercée à distance sur une particule de magnétisme par un fil conjonctif; T. XCI, p. 151.

DAVY. Recherches sur le même sujet; T. XCI, p. 394.

SERULLAS. Observations chimico-physiques sur les alliages de potassium et de sodium avec d'autres métaux, etc.; T. XCI, p. 123.

OERSTED. Considérations sur l'électro-magnétisme; T. XCIII, p. 161.

Lettre de Vanbeck à Ampère sur des expériences électro-magnétiques; et Réplique; T. XCIII, p. 312, 447.

DAVY. Recherches sur les phénomènes magnétiques produits par l'électricité; T. XCIV, p. 72.

DAVY. Recherches sur les phénomènes magnétiques produits par l'électricité, avec des expériences nouvelles sur les propriétés des corps électrisés, dans leur rapport avec les pouvoirs conducteurs et la température; T. XCIV, p. 226.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE.

CHILDREN. Détail de quelques expériences faites avec une grande batterie voltaïque; T. I, p. 109.

W. H. WOLLASTON. Description d'une batterie galvanique élémentaire; T. I, p. 119.
RIDOLFI. Expériences nouvelles sur le magnétisme des rayons violets; T. IV, p. 1.
FRAUNHOFER. Nouvelle découverte de la nature particulière et différente de la lumière terrestre, de la lumière électrique, de celle du soleil et des étoiles; T. VI, p. 21.
J. ROSS, capitaine de la marine royale anglaise. Sur la déclinaison de la boussole et la déviation de l'aiguille aimantée, résultat des expériences faites dans le voyage de découverte aux régions arctiques; T. XI, p. 18.
J. MACAIRE. Sur un appareil électro-chimique propre à reconnaître la présence des métaux en dissolution dans un liquide; T. XIII, p. 279.
HEINRICH PLACIDUS. Sur la phosphorescence par irradiation; T. XV, p. 247.
GAZZERI, RIDOLFI ET ANTINORI. Expériences électro-magnétiques; T. XVI, p. 101.
PICTET. Expériences sur certaines modifications du calorique dans l'appareil voltaïque; T. XVI, p. 176.
DELARIVE. Sur quelques expériences] électro-magnétiques; T. XVI. p. 201.
VANBECK. Considérations et expériences sur les phénomènes électro-magnétiques; T. XVII, p. 195.
POENITZ. Recherches des causes qui rendent le fer magnétique lorsqu'on le traite mécaniquement et lorsqu'on le trempe; T. XVII, p. 283.
MACAIRE. Sur la phosphorescence des lampyres; T. XVII, p. 52.
YELIN. Effets électro-magnétiques des alcalis; T. XXIII, p. 38.
YELIN. Le thermo-magnétisme exposé dans une série de nouvelles expériences électro-magnétiques; T. XXIV, p. 253.
TRAIL, CUMMING ET MARSH. Expériences thermo-électriques; T. XXV, p. 104.
HARE. Exposé succinct de quelques expériences électro-magnétiques et galvaniques; T. XXVI, p. 187.
STEWART-TRAILL. Sur le thermo-magnétisme; T. XXVII, p. 199.
BARLOW. Description d'un nouvel appareil électro-magnétique; T. XXVIII, p. 122.
NOBILI. Sur un nouveau galvanomètre; T. XXIX, p. 119.
SCORESBY JUNIOR. Expériences magnétiques; T. XXIX, p. 185.
..... Exposé des recherches de M. Babage, Herschell, Christie, Barlow et Marsh sur le magnétisme développé dans les métaux par rotation; T. XXIX, p. 254.
NOBILI. Sur le magnétisme du cuivre et d'autres substances; T. XXXI, p. 45.
CHRISTIE. Des effets de la température sur l'intensité des forces magnétiques, et de la variation diurne de l'intensité magnétique du globe terrestre; T. XXXI, p. 310.
HANSTEEN. Observation sur le décroissement de l'intensité du magnétisme terrestre; T. XXXIII, p. 283.

Seebeck. Polarisation magnétique des métaux et des terres par l'inégalité de température (Extrait); T. XXXIV, p. 119.

Barlow. Comparaison de la déviation produite dans la direction d'une aiguille aimantée par la rotation d'un boulet de fer solide et d'un boulet creux; T. XXXIV, p. 188.

Christie. Sur l'influence magnétique des rayons solaires; T. XXXIV, p. 191.

Sturgeon. Sur l'inflammation de la poudre par la décharge électrique; T. XXXIV, p. 278.

Nobili. Sur les apparences et les mouvements électro-chimiques du mercure; T. XXXV, p. 261.

Kupffer. Recherches sur les variations de la durée moyenne des oscillations horizontales de l'aiguille aimantée; T. XXXVII, p. 35.

Hansteen. Sur la forme et la nature des aurores boréales; T. XXXVII, p. 275.

Nobili. Notice sur le magnétisme des fils du galvanomètre; T. XXXVIII, p. 79.

L'abbé Rendu. Observations qui tendent à prouver que la cristallisation de tous les corps est un phénomène électrique; T. XXXVIII, p. 304.

Second article; XXXIX, p. 58.

Ritchie. Expériences sur le fer chaud relativement à l'électricité et au magnétisme; T. XXXIX, p. 192.

Traill. Expériences et observations sur le thermo-magnétisme; T. XXXIX, p. 268.

Kemp. Expériences sur les propriétés électriques du carbone dans l'état de combustion. (Extrait); T. XLI, p. 114.

Barlocci. De l'influence de la lumière solaire sur la production des phénomènes électriques et magnétiques; T. XLII, p. 11.

.... Réflexions sur la cause des aurores boréales; XLIII, p. 283.

Quetelet. Recherches sur l'intensité magnétique en différents lieux de l'Allemagne et des Pays-Bas; T. XLIII, p. 360.

Moll. Expériences électro-magnétiques; T. XLV, p. 19.

W. T. Brande. Sur la décomposition électro-chimique des sels végétaux alcalins; T. XLVI, p. 375.

R. W. Fox. Sur les propriétés électro-magnétiques des filons métallifères du Cornouailles; T. XLVII, p. 113.

Harris. Sur la propriété que possèdent certaines substances d'intercepter l'action magnétique; T. XLVII, p. 134.

Muncke. Observations thermo-électriques; T. XLVII, p. 137.

Quetelet. Recherches sur l'intensité magnétique en Suisse et en Italie; T. XLVII, p. 225.

W. Sturgeon. Recherches expérimentales sur le thermo-magnétisme des corps homogènes. 1er article; T. XLVII, p. 351.

Sturgeon. Recherches expérimentales sur le thermo-magnétisme des corps homogènes. 2e article; T. XLVIII, p. 1.

Fusinieri. Mémoire sur le transport des substances pondérables par la foudre; T. XLVIII, p. 371.
2e article; T. XLIX, p. 1.
Hansteen. Sur l'intensité magnétique du globe terrestre; T. XLIX, p. 113.
Ampère. Ses idées sur la chaleur et la lumière; T. XLIX, p. 225.
Barlow. De l'origine électrique probable de tous les phénomènes du magnétisme terrestre; T. XLIX, p. 236.
..... Remarques relatives au magnétisme du globe terrestre; T. XLIX, p. 371.
R. W. Fox. De la variation d'intensité du magnétisme terrestre et de l'influence qu'exerce sur elle l'aurore boréale; T. XLIX, p. 381.
Marianini. Sur une espèce d'action chimique produite sur la surface des métaux par les courants magnéto-électriques de Faraday; T. LI, p. 16.
G. D. Bottot. Sur l'action chimique des courants magnéto-électriques; T. LI, p. 21 et 337.
R. W. Fox. Sur quelques irrégularités dans les oscillations de l'aiguille aimantée; LI, p. 329.
L'abbé Dalnegro. Expériences qui confirment les nouvelles propriétés des électro-moteurs de Volta; T. LIII, p. 382.

TRANSACTIONS PHILOSOPHIQUES.

Morgan. 1785. Expérience électrique faite dans le but de déterminer le pouvoir non conducteur d'un vide parfait; p. 252.
Cavallo. 1786. Expériences magnétiques; p. 62.
Patherson. 1786. Sur un nouveau poisson électrique; p. 382.
Cavallo. 1787. Expériences magnétiques et observations; p. 6.
Bennet. 1787. Description d'un nouvel électromètre; p. 26.
Bennet. 1787. Précis sur un doubleur d'électricité; p. 283.
Whilaker Gray. 1788. Observations sur la manière dont la terre se charge et se décharge du fluide électrique; p. 121.
Cavallo. 1788. Description d'un nouvel instrument électrique, capable de rassembler une quantité diffuse ou peu condensée d'électricité; p. 255.
Cavendish. 1788. Sur la conversion d'un mélange d'air phlogistiqué et déphlogistiqué en acide nitreux, par l'étincelle électrique; p. 260.
Nicholson. 1788. Description d'un instrument qui, au moyen de la rotation d'une manivelle, produit les deux électricités sans frottement ou communication avec la terre; p. 403.
Beddols. 1791. Observation sur

l'affinité entre les basaltes et le granit; p. 48.

John Read. 1792. Journal météorologique principalement relatif à l'électricité atmosphérique; p. 225.

Galvani. 1793. Précis de quelques découvertes faites par Galvani avec des expériences et des observations sur ces découvertes, p. 10.

Réad. 1794. Expériences et observations faites avec le doubleur d'électricité, dans le but de déterminer son utilité réelle, dans l'investigation de l'électricité de l'air atmosphérique à différents degrés de pureté.

Well. 1795. Observation sur l'influence qui excite les muscles des animaux à se contracter, dans l'expérience de M. Galvani; p. 246.

Macdonall. 1796. Observations sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée, au fort de Malborough dans l'île de Sumatra; p. . . .

Pearson. 1797. Expériences et observations faites dans le but de déterminer la nature du gaz produit en faisant passer des décharges électriques à travers l'eau; p. 142.

Hulme. 1800. Expériences et observations sur la lumière qui est émise spontanément et avec quelques degrés de permanence, par différents corps; p. 161.

Volta. 1800. Sur l'électricité excitée par le simple contact de subtances conductrices de différentes espèces; p. 403.

H. Davy. 1801. Précis de quelques combinaisons galvaniques, formées par l'arrangement de simples plaques métalliques et de fluides, analogues au nouvel appareil galvanique de Volta; p. 397.

Hulme. 1801. Continuation des expériences et observations sur la lumière émise spontanément par divers corps; p. 403.

Wollaston. 1801. Expérience sur la production chimique et l'action de l'électricité; p. 427.

Robertson. 1806. Observations sur la permanence de la variation de l'aiguille aimantée à la Jamaïque; p. 348.

H. Davy. 1807. Lecture bakérienne sur quelques nouveaux phénomènes de changements physiques produits par l'électricité, particulièrement la décomposition des alcalis fixes et l'isolement des nouvelles substances qui constituent leurs bases, et sur la nature générale des corps alcalins; p. 1.

Richardson. 1808. Lettres sur les altérations qui ont lieu dans la structure des roches, à la surface des contrées basaltiques dans les comtés de Derry et d'Antrim.

Children. 1809. Précis de quelques expériences entreprises dans le but de déterminer la méthode la plus avantageuse de construire un appareil voltaïque, destiné aux recherches chimiques; p. 32.

H. Davy. 1810. Lecture bakérienne sur quelques nouvelles recherches électro-chimiques

sur divers objets, particulièrement les corps métalliques extraits des alcalis et des terres et sur quelques combinaisons d'hydrogène; p. 16.

BRANDE. 1814. Lecture bakérienne sur de nouveaux phénomènes électro-chimiques; p. 51.

CHILDREN. 1815. Précis d'expériences avec une grande batterie voltaïque; p. 263.

TODEL. 1816. Observations et expériences sur la torpille du cap de Bonne-Espérance, faites en 1812; p. 120.

SCORESBY. 1819. Sur une anomalie dans les variations de l'aiguille aimantée, observée à bord d'un vaisseau; p. 96.

SABINE. 1819. Sur les irrégularités observées dans la direction de l'aiguille aimantée, sur *l'Isabelle* et *l'Alexandre*, dans leur dernier voyage de découvertes et causées par l'attraction du fer des vaisseaux; p. 112.

SABINE. 1819. Observations sur l'inclinaison et les variations de l'aiguille aimantée, ainsi que sur l'intensité de la force magnétique, faites pendant le dernier voyage à la recherche d'un passage au nord-ouest; p. 132.

H. DAVY. 1821. Sur les phénomènes magnétiques produits par l'électricité; p. 7.

KALER. 1821. Lecture bakérienne sur le meilleur acier et la meilleure forme des aiguilles aimantées; p. 104.

BARLOW. 1821. Sur les effets produits sur la marche des chronomètres par le voisinage de masses de fer; p. 361.

H. DAVY. 1821. Nouvelles recherches sur les phénomènes magnétiques produits par l'électricité, avec quelques nouvelles expériences sur les propriétés des corps électrisés dans leurs rapports avec les pouvoirs conducteurs et la température; p......

SABINE. 1822. Lecture bakérienne. Précis des expériences faites pour déterminer la quantité d'inclinaison de l'aiguille aimantée à Londres avant 1821, avec des remarques sur les instruments ordinairement employés à de semblables déterminations; p. 1.

H. DAVY. 1822. Sur les phénomènes électriques qu'on remarque dans le vide; p. 64.

BARLOW. 1822. Sur l'action magnétique irrégulière du fer chaud entre la température blanche et la température rouge; p. 117.

SCORESBY. 1822. Expériences et observations sur le développement des propriétés magnétiques dans l'acier et le fer, par la percussion; p. 241.

H. DAVY. 1823. Sur un nouveau phénomène d'électro-magnétisme; p. 153.

PEPYS. 1823. Précis d'un appareil d'une construction particulière pour faire les expériences électro-magnétiques; p. 187.

BARLOW. 1823. Observations et expériences sur les variations diurnes de l'aiguille horizontale et de l'aiguille d'inclinaison sous un pouvoir directement réduit; p. 326.

Christie. 1823. Sur les déviations diurnes des aiguilles horizontales sous l'influence des aimants; p. 342.

H. Davy. 1824. Sur la corrosion des feuilles de cuivre par l'eau de la mer et sur les méthodes employées pour prévenir ces effets, et sur leurs applications aux vaisseaux de guerre et autres; p. 151.

Herschel. 1824. Lecture bakérienne sur certains mouvements produits dans les fluides conducteurs, lorsqu'ils transmettent le courant électrique; p. 162.

Scoresby. 1824. Expériences et observations sur le développement des propriétés magnétiques dans l'acier et dans le fer, par la percussion; p. 197.

H. Davy. 1824. Expériences et observations additionnelles sur l'application des combinaisons électriques à la préservation du doublage en cuivre des vaisseaux et autres; p. 242.

Christie. 1825. Sur les effets de la température sur l'intensité des forces magnétiques et sur la variation diurne de l'intensité magnétique de la terre; p. 1.

Barlow. 1825. Sur l'effet magnétique temporaire produit sur le fer par la rotation; p. 317.

H. Davy. 1825. Recherces nouvelles sur la préservation des métaux par des moyens électro-chimiques; p. 328.

Christie. 1825. Sur le magnétisme du fer provenant de la rotation; p. 347.

Herschel. 1825. Précis de la répétition des expériences de M. Arago, sur le magnétisme manifesté par diverses substances, pendant leur rotation; p.....

Christie. 1825. Sur le magnétisme développé dans le cuivre et d'autres substances pendant la rotation; p. 497.

John Davy. 1826. Observations sur les changements qui se sont opérés dans quelques alliages de cuivre; p. 55.

Snow Arris. 1827. Sur les puissances relatives de diverses substances métalliques comme conducteurs de l'électricité; p. 18.

Christie. 1827. Sur l'action mutuelle des molécules des corps magnétiques et sur la loi de variation des forces magnétiques engendrées à différentes distances, pendant la rotation; p. 71.

Wilson. 1827. Sur les déflexions secondaires produites dans une aiguille aimantée par une plaque ou bombe de fer, en conséquence d'une inégale distribution du magnétisme dans ses deux branches; p. 276.

Christie. 1827. Théorie de la variation diurne de l'aiguille aimantée, démontrée par l'expérience; p. 308.

Philipps. 1827. Observation sur les effets produits par la division des nerfs des poumons, en soumettant ces derniers à l'influence de l'électricité voltaïque; p. 297.

Sabine. 1828. Expériences pour déterminer le rapport des for-

ces magnétiques sur une aiguille suspendue horizontalement, à Paris et à Londres, p. 1.

CHRISTIE. 1828. Sur les lois de la déviation des aiguilles aimantées vers le fer; p. 325.

RITCHIE. 1828. Expériences et observations sur la conductibilité électrique, p. 373.

CHRISTIE. 1828. Sur l'influence magnétique des rayons solaires; p. 379.

R. W. FOX. 1830. Sur les propriétés magnétiques des filons métallifères dans les mines de Cornouailles; 1830, p. 399.

JAMES FARQUHARSON. 1830. Sur l'influence de l'aurore boréale sur l'aiguille aimantée; p. 97.

..... 1831. Influence de l'aurore boréale sur le magnétisme terrestre; p. 199.

BARLOW. 1831. Sur l'origine électrique probable de tous les phénomènes magnétiques terrestres; p. 99.

BARRY. 1831. Sur l'action chimique de l'électricité atmosphérique; p. 165.

EDM. DAVY. 1831. Sur une méthode électro-chimique de s'assurer de la présence de différents métaux; p. 147.

WILLIAM HARRIS. 1831. Du passage de certaines substances à l'état magnétique; p. 67.

WILL. RITCHIE. 1832. Recherches expérimentales sur l'électricité voltaïque et l'électro-magnétisme; p. 279.

EDW. BELCHER. 1832. Suite d'expériences magnétiques faites sur la côte occidentale d'Afrique, p. 493.

J. DAVY. 1832. Expériences sur la torpille, 259.

S. H. CHRISTIE. 1833. Déterminations expérimentales des lois de l'induction électro-magnétique dans différentes masses du même métal et de leur intensité dans différents métaux, p. 95.

FARADAY. 1833. Recherches expérimentales sur l'électricité, p. 23.

NICHOLSON'S JOURNAL.

CUTHBERTSON. 1801. Série d'expériences sur les métaux avec une batterie électrique, montrant leur propriété d'absorber l'oxigène de l'atmosphère quand ils sont frappés d'une décharge électrique; T. V, p. 136.

1802. Fluide électrique, démonstration de son action sur la pile galvanique; T. II, p. 287. Électricité atmosphérique; p. 286. Dilatation de l'hydrogène carboné par l'électricité; p. 184.

CUTHBERTSON. 1802. Des expériences de Volta sur lesquelles il fonde sa théorie du galvanisme; T. II, p. 281.

HULME. 1802. Lumière émise des corps; T. II, p. 31.

NICHOLSON. 1802. Sur la pile de Volta; T. 2, p. 303.

CUTHBERTSON. 1802. Examen des

expériences de Volta; T. II, p. 281, 298.

Dyckhoff. 1804. Expériences sur l'activité de la pile galvanique dans laquelle une couche d'air pur est substituée aux corps mouillés; T. VII, p. 305.

1804. Extrait d'une lettre de M. J. B. Van-den-Sande sur l'efflorescence et la décomposition des tubes de verre; T. VII, p. 306.

1804. Description d'un appareil galvanique présentant une large surface pour l'oxidation et convertible en un ou plusieurs disques à volonté; T. VIII, p. 79.

Bartholdi. 1804. Sur les inflammations spontanées; T. VIII, p. 236.

H. Wollaston. 1804. Lettres sur certains effets chimiques de la lumière; T. VIII, p. 293.

Wilson. 1805. Expériences sur l'électricité de la limaille des métaux, avec des remarques en réponse à une lettre de M. Cuthbertson; T. XI, p. 110.

Œrsted. 1806. Sur la propagation de l'électricité; T. XV, p. 166.

Skrimshire. 1806. Sur l'absorption de la lumière électrique par différents corps; T. XV, p. 281.

W. H. Wollaston. 1806. Description d'une pile pour les expériences chimiques; T. XV, p. 284.

Erman. 1807. Mémoire sur deux nouvelles classes de conducteurs galvaniques; T. XVII, p. 316.

G. J. Singer. 1809. Sur des expériences électro-chimiques; T. XXIV, p. 174.

Cuthbertson. 1810. Sur quelques améliorations dans la machine électrique; T. XXVI, p. 9.

J. A. Deluc. 1810. Analyse de la pile galvanique; T. XXVI, p. 113.

J. A. Deluc. 1811. Expériences concernant la machine électrique montrant les effets électriques du frottement entre les corps; T. XXVIII, p. 1.

J. Gough. 1812. Remarques sur les trous faits dans le papier par les batteries électriques; T. XXXII, p. 176.

G. Singer. 1813. Sur les effets de mille vingt disques de zinc et d'argent arrangés comme une colonne électrique; T. XXXV, p. 84.

William Henry. 1813. Sur les théories de l'excitation de l'électricité galvanique; T. XXXV, p. 259.

G. A. Deluc. 1813. Les théories de l'excitation de l'électricité galvanique exposées dans un mémoire de W. Henry, comparées avec les phénomènes de la colonne électrique; T. XXXVI, p. 97.

PHILOSOPHICAL MAGAZINE.

W. Brande. 1814. Sur quelques nouveaux phénomènes électro-chimiques; T. XLIV, p. 124.

Francis Ronalds. Sur l'électricité; T. XLIV, p. 442.

Children. 1815. Relation de quelques expériences faites avec une grande pile; T. XLVI, p. 409.

Andrew Crosse. 1815. Expériences sur l'électricité voltaïque; T. XLVI, p. 421.

Deluc. 1816. De l'influence de l'atmosphère sur la colonne électro-galvanique; T. XLVII, p. 47.

J. T. Todd. 1816. Observations et expériences faites sur la torpille du cap de Bonne-Espérance en 1812; T. XLVIII, p. 14.

Tilloch. 1817. Sur le magnétisme terrestre; T. XLIX, p. 3.

J. Tatuns. 1818. Sur les propriétés électriques des métaux et le pouvoir absolu négatif de certaines substances; T. LI, p. 438.

Th. Yeates. 1818. Théorie des variations magnétiques; T. LII, p. 295.

B. Hare. 1819. Nouvelle théorie du galvanisme appuyée par des expériences du calorimoteur; T. LIV, p. 206.

Isabella et Alexander. Des irrégularités observées dans l'aiguille aimantée, dans leur dernier voyage de découvertes, et produites par l'attraction du fer des vaisseaux; T. LIV, p. 276.

Ch. Bonnycastle. 1820. Sur la distribution du fluide magnétique dans des masses de fer; T. LV, p. 446.

R. Hare. 1821. Mémoire sur quelques nouvelles modifications de l'appareil galvanique et observations relatives à la théorie; T. LI, p. 284.

H. Davy. 1821. Recherches sur les phénomènes magnétiques produits par l'électricité, avec quelques nouvelles expériences sur les propriétés des corps électrisés dans leur rapport avec les pouvoirs conducteurs et la température; T. LVIII, p. 406.

R. Hare. 1822. Du déflagrateur galvanique: T. LIX, p. 113.

J. Murray. 1823. Quelques expériences relatives aux relations du calorique et du magnétisme; T. LXI, p. 207.

R. Webster. 1823. Sur les causes de variations des pôles magnétiques; T. LXI, p. 165.

Barlow. 1823. Relation de quelques combinaisons électro-magnétiques pour produire des phénomènes thermo-électriques, par James Marsh; T. LXII, p. 321.

Kaemtz. 1823. Sur les lois suivant lesquelles le pouvoir électro-magnétique des fils en communication avec la pile

de Volta est augmenté par le multiplicateur de Schweiger; T. LXII, p. 441.

R. Hare. 1823. Essai sur la question de savoir s'il y a deux fluides électriques ou un seul; T. LXII, p. 3.

W. Sturgeon. 1824. Électro-thermo-magnétisme; T. LXIII, p. 95, 266, 269.

J. Murray. 1824. Expériences sur la déviation de l'aiguille aimantée, quand elle est affectée par la chaleur; T. LXIII, p. 130.

R. Hare. 1824. Relation de quelques expériences électro-magnétiques; T. LXIII, p. 367.

FIN DES MÉMOIRES.

PRÉCIS HISTORIQUE

SUR

L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME.

PREMIÈRE PÉRIODE.

DEPUIS 600 ANS AVANT L'ÈRE CHRÉTIENNE, JUSQU'EN 1790.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ I. *Propriétés générales de l'électricité.*

THALÈS, qui vivait 600 ans avant l'ère chrétienne, connaissait déja, dit-on, la propriété dont jouit l'ambre ou succin, quand il est frotté, d'attirer les corps légers qu'on lui présente. Les Grecs, avides du merveilleux, et habitués à voir des dieux dans tous les objets de la nature, crurent que cette substance avait une ame; ils ne tirèrent aucune autre conséquence d'une propriété qui joue cependant un rôle important dans la nature et dont les effets frappaient journellement leurs yeux. Théophraste, dans son Traité des pierres précieuses, fit également mention du pouvoir attractif de l'ambre, qu'il reconnut aussi dans d'autres corps.

Pline dit (1), en parlant du succin : « Quand le frot-

(1) C. Plinii Hist. nat., lib. XXXVII, p. 327, 329, traduction de M. Ajasson de Grandsagne.

« tement des doigts lui a donné la chaleur et la vie, il « attire à lui les brins de paille, les feuilles sèches de « peu de poids, de même que l'aimant attire le fer. »

Au rapport de cet auteur, cette substance était très-recherchée de son temps et jouissait de plusieurs propriétés médicinales.

Les Romains avaient observé souvent des phénomènes lumineux, dont ils ne connaissaient pas l'origine et qui devaient plus tard se rattacher au pouvoir attractif de l'ambre. En voici plusieurs exemples. On trouve dans les Commentaires de César le passage suivant :

« Vers ce temps-là, parut dans l'armée de César « un phénomène extraordinaire. Au mois de février, « vers la seconde veille de la nuit, il s'éleva subitement « un nuage épais, suivi d'une pluie de pierres; et la même « nuit, les pointes des piques de la cinquième légion « parurent s'enflammer (1). »

Tite Live (2) fait mention de deux faits semblables : les piques de quelques soldats en Sicile, et une canne que portait à la main un cavalier en Sardaigne, parurent en feu. Les côtes furent aussi lumineuses et brillaient de feux fréquents.

Plutarque, dans sa vie de Lysandre, parle d'une apparence lumineuse qu'il considère comme un météore. Pline (3) appelle ces apparences des étoiles. « Les étoi- « les paraissent, dit-il, tant sur terre que sur mer. J'ai « vu une lumière sous cette forme sur les piques des « soldats qui étaient en faction la nuit sur les remparts. « On en a vu aussi sur les vergues et autres parties des « vaisseaux, qui rendaient un son intelligible et chan- « geaient souvent de place. Deux de ces lumières pré- « disaient un bon temps et un heureux voyage, et en « chassaient une autre qui paraissait seule et qui avait un « aspect menaçant. Les marins appellent celle-ci Hélène;

(1) De Bello Africano, caput VI.
(2) Chap. XXXII.
(3) C. Plinii secundi historiarum mundi liber II.

« mais ils nomment les deux autres Castor et Pollux, et « les invoquent comme des dieux. Ces lumières se posent « quelquefois, vers le soir, sur la tête des hommes et sont « d'un bon et favorable présage; mais ces choses sont au « nombre des mystères respectables de la nature. »

Pendant long-temps, on se borna à des observations de ce genre; mais, ce n'est qu'au commencement du XVIIe siècle que le pouvoir attractif de l'ambre et les apparences lumineuses dont je viens de parler commencèrent à attirer sérieusement l'attention des philosophes. Gilbert, médecin anglais, publia à cette époque un ouvrage fort remarquable, ayant pour titre : *De Magnete*, dans lequel il fit connaître un grand nombre de corps jouissant de la même propriété que les anciens avaient reconnue dans l'ambre ou succin, savoir les pierres précieuses, toutes les matières vitrifiées, le soufre, la résine, etc. Il observa en outre que les effets étaient d'autant plus marqués que l'air dans lequel on opérait se trouvait dans un plus grand état de sécheresse, et ne négligea aucune des circonstances qui pouvaient exercer une influence sur la production de l'électricité. Gilbert rassembla donc quelques faits qui, réunis, commencèrent à former un corps de doctrine qu'on appela électricité, dérivé du mot ἤλεκτρον, dénomination grecque de l'ambre.

Boyle, vers 1670, augmenta le catalogue des substances électriques; il trouva que la masse solide qui reste après l'évaporation de la térébenthine, ainsi que celle que l'on obtient après la distillation de l'huile de pétrole avec l'acide nitrique, étaient électriques;

Il eut le premier l'idée d'agir sur une aiguille de métal librement suspendue, de nettoyer et de chauffer les corps avant de les frotter (1).

A peu près dans le même temps, Otto de Guerike, l'ingénieux physicien auquel nous devons la machine pneumatique, construisit aussi la première machine

(1) Hist. de l'Électr. de Priestley, tome I, p. 9 et suivantes.

électrique, qui consistait en un globe de soufre traversé par un axe horizontal, auquel il imprimait d'une main un mouvement de rotation, pendant que l'autre, qui appuyait dessus, produisait par son frottement un dégagement d'électricité plus considérable qu'on n'en avait obtenu avant lui. Il put alors étudier quelques-unes des principales propriétés de cet agent singulier; il aperçut le premier la traînée lumineuse qui accompagne l'émission du principe électrique et la compara à celle que produit le sucre dans l'obscurité, quand on le broie. Il observa qu'un corps qui est attiré par un autre corps électrisé en est repoussé aussitôt, et que ceux que l'on plonge dans les atmosphères électriques sont eux-mêmes électrisés (1).

Le docteur Wall observa une plus belle apparence de lumière électrique que celle qui avait été remarquée par Otto de Guerike et compara, comme ce dernier, cette lumière à celle du phosphore artificiel. On trouve dans ses écrits ce passage remarquable, relatif au dégagement de l'électricité dans un morceau d'ambre :

« Si quelqu'un présentait le doigt à une petite dis-
« tance de l'ambre, on entendait un grand craquement,
« suivi d'un grand éclat de lumière. Ce qui me sur-
« prend beaucoup en cette éruption, c'est qu'elle frappe
« le doigt très-sensiblement et y cause une impression
« de vent, à quelque endroit qu'on le présente. Le cra-
« quement est aussi fort que celui d'un charbon sur le
« feu, et une seule friction produit cinq ou six craque-
« ments. . . . .

« Cette lumière et ce craquement paraissent, en quel-
« que façon, représenter le tonnerre et les éclairs (2). »

C'est la première fois qu'on ait comparé les effets de l'électricité à ceux de la foudre.

Newton (3), en 1675, trouva que l'attraction élec-

---

(1) Experimenta Magdeburgica, lib. IV, cap. V.
(2) Philos. trans. Abridgment, vol. II, p. 275.
(3) Birch's Hist. of the roy. Society, vol. III, p. 260 et suiv.

trique se transmet à travers le verre. Ce grand homme, dont les vues philosophiques portent l'empreinte de son génie, dit, dans une des questions annexées à son Traité d'optique, que la production de l'électricité est peut-être le résultat d'un principe éthéré mis en mouvement par la vibration des particules des corps frottés. Peut-être a-t-il entrevu la véritable cause des phénomènes électriques (1).

Hawkesbée, vers 1709, se livra avec ardeur à des recherches sur l'électricité, particulièrement en ce qui concerne l'attraction et la répulsion électriques. Il observa le premier le passage de l'électricité à travers le vide et décrivit avec soin les apparences lumineuses qu'elle produit. Il fit connaître la lumière qui est émise lorsqu'on agite du mercure dans un tube de verre où l'on a fait le vide, et la considéra comme phosphorique. On lui doit d'avoir substitué un cylindre de verre au manchon de résine (2).

Grey, en 1727, aidé de Welher, fit faire un pas important à la théorie de l'électricité, en prouvant que les corps ne jouissent pas tous de la même faculté conductrice de l'électricité; que les uns, comme les métaux, propagent l'électricité à de grandes distances, tandis que d'autres, comme le verre et la résine, ne lui permettent de franchir aucun intervalle sensible (3).

Six ans après, Dufay (4), prenant en considération la découverte de Grey, montra que tous les corps, même ceux qui étaient conducteurs de l'électricité, tels que les métaux, pouvaient devenir électriques, pourvu qu'ils fussent placés préalablement sur un corps non conducteur, auquel il donna le nom de support isolant. Mais la découverte qui rendit son nom célèbre est celle des deux principes électriques, dont la réunion forme le

(1) Newton's Optic in-8°, p. 314 and 327.
(2) Physico-mechanical Experiments, p. 75 et suiv.
(3) Philos. trans. Abrid., vol. VIII, p. 9, et vol. IX, p. 15 et suiv.
(4) Hist. de l'Acad des sc. pour 1733 à 1734.

fluide neutre. Il donna au premier le nom d'électricité vitrée, parce qu'il se produit ordinairement dans le frottement des matières vitreuses, et celui d'électricité résineuse au second, attendu qu'on l'obtient par le frottement des matières résineuses. Il prouva en même temps que les propriétés de ces deux espèces d'électricité sont de s'attirer l'une l'autre, tandis que les particules de chacune d'elles se repoussent (1).

Ces dénominations d'électricité vitrée et d'électricité résineuse ont été abandonnées, depuis que l'on a reconnu que l'une et l'autre pouvait être produite indistinctement par le même corps, suivant l'état de sa surface; on leur a substitué celles d'électricité positive et d'électricité négative, qui sont plus significatives.

A cette époque, le même physicien tira du corps de l'homme la première étincelle électrique. Ce fait inattendu causa une surprise générale.

En 1741, Boze, professeur de physique à Wurtemberg, imagina de suspendre un cylindre de fer-blanc à des cordons de soie, afin de recueillir l'électricité dégagée par le frottement (2).

A peu près à la même époque, le professeur Winkler substitua un coussin à la main, et dès lors, sauf quelques modifications secondaires, la machine électrique fut définitivement constituée (3).

En 1744, on obtenait déja des étincelles capables de tuer des petits oiseaux et d'enflammer l'éther, l'alcool et plusieurs autres corps combustibles (4).

En 1746, Cuneus de Leyde ou Muschenbroek (5) (car on ne sait auquel des deux accorder la priorité), découvrit la fameuse bouteille électrique, dite de Leyde. Électrisant un jour une bouteille de verre remplie d'eau dis-

---

(1) Philos. trans. Abridg., vol. VIII, p. 396 et suiv.
(2) Hist. de l'Électr. par Priestley, tome I, p. 129.
(3) Philos. trans. Abridg., vol. X, p. 272.
(4) Philos. trans. Abridg., vol. X, p. 271.
(5) Dalibard. Hist. de l'Electr. p. 33.

tillée qu'il tenait à la main et dans laquelle plongeait une tige métallique en communication avec une machine électrique, il voulut retirer cette tige avec l'autre main, et ressentit aussitôt une vive commotion dans les bras et la poitrine. Cette expérience, qui excita un étonnement aussi général que celui qu'avait fait naître la première étincelle tirée du corps de l'homme, devint bientôt populaire et passa du cabinet du physicien sur la place publique, dans les mains du bateleur.

Les docteurs Watson et Bevis sentirent la nécessité d'une enveloppe métallique appliquée sur la surface extérieure de la bouteille, pour avoir des commotions plus fortes (1).

Le docteur Walton remarqua que les étincelles électriques changeaient de forme et de couleur, suivant les substances d'où elles sortaient et qu'elles n'éprouvaient aucune réfraction en passant dans le verre (2).

L'abbé Nollet répéta le premier en France l'expérience de la bouteille de Leyde sur cent quatre-vingts personnes qui se donnaient la main.

Les physiciens français et anglais, frappés de ce résultat, essayèrent de déterminer la vitesse du fluide électrique, en faisant passer la décharge de la bouteille, d'abord dans un fil de fer de 12276 pieds de longueur, et ensuite dans la Tamise, sur une longueur de 5 ou 6 milles; mais ils ne purent jamais observer aucun intervalle de temps sensible entre le moment du départ de l'étincelle et celui de son arrivée (3).

§ II. *De l'électricité atmosphérique.*

Dès cette époque, on commençait déja à être frappé de la ressemblance qu'il y avait entre les effets de la commotion électrique et ceux du tonnerre, pour déchirer les corps, enflammer ceux qui étaient combustibles, tuer

(1) Philos. trans. Abridg., vol. x, p. 377.
(2) Philos. trans. Abridg., vol. x, p. 286 et suiv.
(3) Philos. trans. Abridg., vol. x, p. 356, 349, 360.

les animaux et désorganiser les plantes. Cette analogie se fit remarquer avec plus d'évidence encore lorsqu'un philosophe américain eut imaginé la charge par cascades (1), qui est la première batterie électrique, au moyen de laquelle il produisit des effets plus étonnants que ceux que l'on avait obtenus jusque-là. Franklin, en 1747, préludait donc déja aux immenses services qu'il devait rendre un jour à son pays et à l'humanité, en cultivant la science électrique avec toute la sagacité et la précision d'un homme de génie. Il fondit une feuille très-mince de métal placée entre deux lames de verre fortement liées l'une sur l'autre, changea les pôles de l'aiguille aimantée, au moyen de décharges électriques, et imita un autre effet de la foudre, celui d'enlever toute la dorure d'un morceau de bois sans endommager aucune partie superficielle. Il compara le mouvement en zigzag de l'éclair à celui de l'étincelle électrique, lorsqu'elle s'élance vers un corps irrégulier placé à quelque distance du premier conducteur et fit remarquer que la foudre frappait les objets les plus élevés et les plus pointus, comme les montagnes, les mâts de vaisseaux, etc., de la même manière que le fluide électrique était plus facilement attiré par des corps pointus et rugueux que par ceux dont la surface était ronde ou polie. Enfin Franklin établit tellement bien la ressemblance qui existait entre ces deux modes d'action, qu'il ne restait plus qu'à recueillir la matière même de la foudre (2). Aussitôt que les idées du philosophe américain, sur l'identité de la foudre et de l'électricité, furent connues en Europe, elles attirèrent l'attention des savants, particulièrement de Dalibard, de Delor, de Mazeas, de Buffon et de Lemonnier en France; de Canton, de Watson, de Wilson et de Bévis en Angleterre. C'est à cette époque que l'abbé Nollet consignait le passage suivant dans son Traité de physique :

(1) Franklin's Letters, p. 12.
(2) Franklin's Letters, p. 44.

« Si quelqu'un entreprenait de prouver, par une consé-
« quence bien suivie des phénomènes, que le tonnerre est
« entre les mains de la nature ce que l'électricité est entre
« les nôtres; que ces merveilles, dont nous disposons à
« notre gré, sont de petites imitations de ces grands effets
« qui nous effraient, et que tout dépend du même méca-
« nisme; si l'on faisait voir qu'une nuée préparée par
« l'action des vents, par la chaleur, par le mélange des
« exhalaisons, est vis-à-vis d'un objet terrestre ce qu'est
« le corps électrisé en présence et à une certaine proxi-
« mité de celui qui ne l'est pas, j'avoue que cette idée, si
« elle était bien soutenue, me plairait beaucoup; et, pour
« la soutenir, combien de raisons spécieuses ne se pré-
« sentent pas à un homme qui est au fait de l'électri-
« cité (1)! »

On voit donc qu'il ne restait plus qu'à produire les effets de l'électricité par la foudre, de même qu'on était parvenu à imiter par l'électricité quelques effets du tonnerre. Nollet, en 1746, avait déja observé que des corps pointus placés à quelque distance d'un corps électrisé produisaient de la lumière. Franklin étudiant le phénomène, reconnut que les pointes non isolées avaient la propriété d'attirer le fluide électrique à une plus grande distance que les autres corps (2). Cette découverte date de 1750. La première expérience pour enlever des nuages l'électricité qu'on supposait y exister dans les temps d'orage, fut faite pour la première fois en France le 10 mai 1752 par Dalibard (3), qui avait dressé à cet effet plusieurs barres de métal isolées et terminées en pointe. L'une d'elles de quarante pieds de hauteur, placée dans un jardin de Marly-la-Ville, fut électrisée par un nuage orageux qui vint à passer au-dessus; pendant un quart d'heure, elle donna des étincelles qui servirent à charger des bouteilles de Leyde.

(1) Leçons de Physique, t. IV, p. 314.
(2) Nollet, Lettres VI, p. 124. Franklin's Letters, p. 56.
(3) Dalibard, Lettres de Franklin, vol. II, p. 109.

A l'instant du passage du nuage, on entendit un coup de tonnerre, et dès lors l'identité de la foudre et de l'électricité fut complétement démontrée.

Franklin ignorait qu'on eût fait cette expérience en France; il attendait, pour la tenter, qu'un clocher qu'on élevait à Philadelphie fût terminé, afin d'y placer à une hauteur convenable la barre isolée qu'il se proposait d'employer; mais il lui vint dans l''idée qu'un cerf-volant, qui dépasserait les édifices les plus élevés, remplirait bien mieux son but. En conséquence, il attacha, en juin 1752 (1), les quatre coins d'un grand mouchoir de soie aux extrémités de deux baguettes de sapin placées en croix, auquel il ajusta les accessoires convenables et en outre une pointe de métal. A l'approche d'un orage, il se rendit dans un champ, accompagné de son fils. Ayant lancé le cerf-volant, il attacha une clef à l'extrémité de la ficelle, puis un cordon de soie qu'il assujétit à un poteau, afin d'isoler l'appareil. Le premier signe d'électricité qu'il remarqua fut la divergence des filaments de chanvre, qui avaient échappé à la torsion. Un nuage épais ayant passé au-dessus du cerf-volant, il tomba un peu de pluie, qui rendit la corde humide et donna écoulement à l'électricité. Ayant présenté le dos de la main à la clef, il en tira des étincelles brillantes et aiguës avec lesquelles il enflamma l'alcool et chargea des bouteilles de Leyde. C'est ainsi qu'une découverte importante, que Franklin appelait modestement une hypothèse, fut mise au nombre des vérités scientifiques.

Il assujétit à la partie la plus élevée de sa maison une tige de métal isolée, qu'il fit communiquer avec deux timbres et un pendule, disposés de manière à sonner dès que l'appareil serait électrisé, pour avertir de l'approche d'un nuage chargé d'électricité.

Dalibard et Franklin ne furent pas les seuls qui cherchèrent à soutirer la foudre des nuages. En France, le

(1) Franklin's Letters, p. 112.

26 mars 1756 (1), Romas obtint des résultats étonnants. Il avait construit un cerf-volant de 7 pieds de haut, sur trois de large, qui fut élevé à la hauteur de 550 pieds avec une corde dans laquelle il avait entrelacé un fil de métal. Il s'établit entre la corde et la terre un courant d'électricité qui parut avoir 3 ou 4 pouces de diamètre et 10 pieds de long; ce phénomène se passait pendant le jour; M. de Romas ne douta pas que s'il eût eu lieu pendant la nuit, l'atmosphère électrique aurait eu 4 ou 5 pieds de diamètre. On sentit en même temps une odeur de soufre fort approchante de celle des écoulements électriques qui sortent d'une barre de métal électrisée. On découvrit un trou dans la terre, à l'endroit où la décharge avait eu lieu, d'un pouce de diamètre et d'un demi-pouce de largeur.

Mais si Franklin n'est pas le premier qui ait enlevé de l'électricité aux nuages, quoiqu'il ait préparé toutes les voies pour démontrer l'identité entre les effets de la foudre et ceux de l'électricité, à lui seul appartient la gloire d'avoir conçu l'idée de soutirer, des nuages, l'électricité, à l'aide de barres métalliques terminées en pointe, pour préserver de ses terribles effets les bâtiments sur lesquels elles sont placées (2). Le pouvoir des pointes ayant été reconnu d'une manière si nette, on ne conçoit pas comment l'Angleterre ait pu devenir le théâtre de vifs débats sur l'efficacité des paratonnerres terminés en pointe ou en boule. Pour l'honneur de la science, on doit ensevelir dans l'oubli de semblables discussions. Franklin a rendu un service d'un autre genre, en cherchant à ranger dans un ordre méthodique toutes les observations qui avaient été faites sur l'électricité. Il créa, à cet effet, un système fameux, qui trouve encore de nos jours des partisans, quoiqu'il ne satisfasse plus aux besoins de la science. Suivant cet homme célèbre, les effets de l'électricité sont le résultat du mouvement d'un fluide particulier qui agit par répulsion sur ses propres particules

(1) Mémoires des savants étrangers, t. II et t. IV, p. 514.
(2) Franklin's Letters, p. 62, 124.

et par attraction sur celles de la matière. L'électricité vitrée est de l'électricité positive ou en plus, et l'électricité résineuse, de l'électricité négative ou en moins. Il admet que tous les corps renferment une certaine quantité de fluide à l'état latent; si cette quantité est augmentée, le corps est électrisé en plus; si, au contraire, elle est diminuée, il est électrisé en moins. La décharge de la bouteille de Leyde n'est pour lui qu'un rétablissement d'équilibre entre les deux fluides, qui sont dissimulés sur les surfaces intérieure et extérieure de la bouteille (1).

Après qu'on eut démontré qu'un nuage orageux renfermait toujours une quantité plus ou moins considérable d'électricité, il restait à expliquer le bruit du tonnerre, l'éclair qui le précède, l'odeur qui accompagne sa chute vers la terre, ainsi que les divers météores lumineux de l'atmosphère, et particulièrement le feu Saint-Elme, que l'on observe dans un air orageux et qui était connu des anciens, comme on l'a vu.

On était déja parvenu, avant les expériences de Dalibard, de Franklin et de Romas, à imiter le phénomène de l'éclair avec le fluide électrique. D'un autre côté, l'expérience de Nollet sur les pointes donnait une explication du feu Saint-Elme, que l'on remarque à l'extrémité des mâts de vaisseaux ou de tout autre corps pointu, placé dans la sphère d'activité d'un nuage orageux.

On avait aussi remarqué que le passage du fluide électrique, d'un corps conducteur dans un autre, était toujours accompagné d'un certain bruit, pourvu que le passage ne se fît pas dans le vide; mais ce bruit différait de celui de la foudre, en ce qu'il n'était pas roulant et continu. Beccaria parvint à expliquer cet effet, en prouvant d'abord que le mouvement du fluide électrique déplaçait subitement l'air et que ce déplacement, se communiquant aux portions environnantes, devait produire les retentissements que l'on entendait (2).

Une observation de Bouguer et de La Condamine

---

(1) Franklin's Letters, p. 15.

(2) Beccaria, Lettere dell' elettricismo, p. 251 et suivantes.

vint confirmer cette théorie; ces deux savants se trouvant sur le Pichincha, une des hautes montagnes du Pérou, y furent assaillis d'un violent orage accompagné de grêle et de tonnerre; la nuée d'où sortait la foudre était placée à peu de distance au-dessus de leur tête. Ils n'entendirent que des coups simples comme ceux de décharges de batteries électriques, parce que le son avait une faible distance à franchir et qu'il se produisait dans un air raréfié.

Le P. Beccaria, dont nous venons de parler pour la première fois, est un des physiciens dont les ouvrages renferment le plus de faits curieux sur la nature et l'action de l'étincelle électrique; il découvrit avant Kinnerslay (1) les effets de l'étincelle sur l'air, en prouvant, au moyen d'un appareil ingénieux, que l'on pouvait soulever la colonne de mercure, dans un baromètre à siphon, en faisant passer la décharge d'une bouteille de Leyde, avec des précautions convenables, au-dessus de la petite branche.

Il restait à expliquer l'odeur de soufre et de phosphore qui accompagne la chute de la foudre; on lui reconnut bientôt une analogie avec celle qui se développe dans les décharges électriques ordinaires; enfin, on parvint à expliquer un grand nombre de faits dont on ne pouvait connaître avant la cause. On avait remarqué, par exemple, depuis long-temps que les pays de montagnes étaient le plus exposés aux orages; que l'Italie et la Suisse étaient les contrées de l'Europe où le tonnerre se faisait entendre le plus fréquemment, tandis que ce météore était rare dans les pays plats, comme la Hollande: le pouvoir des pointes suffit pour expliquer cette différence (2).

Beccaria avança cette belle idée qui a été reproduite par M. Ampère, avec des modifications exigées par les découvertes modernes, que, puisqu'un coup de tonnerre subit donne la polarité magnétique à une aiguille et à tous les corps qui contiennent du fer, il est probable

---

(1) Elettricismo artificiale di Gian-Batista Beccaria, p. 227.
(2) Lettere dell' elettricismo, p. 262.

qu'une circulation régulière et constante de toute la masse du fluide électrique du nord au sud est la cause première du magnétisme en général. Cet observateur judicieux étudia les rapports qui existent entre la position des pôles et la décharge, suivant que l'électricité positive arrive d'un côté ou de l'autre, et en conclut un moyen de déterminer avec certitude la direction dans laquelle a lieu le coup de tonnerre (1).

L'expérience ne tarda pas à démontrer l'efficacité des paratonnerres pour décharger un nuage orageux de son électricité ; mais on reconnut promptement aussi la nécessité d'établir une communication métallique sans interruption entre la tige et la terre; car si cette communication est interrompue par des corps mauvais conducteurs, comme on l'a fait quelquefois en expérimentant, sans prendre la précaution de placer à peu de distance un fil conducteur pour s'emparer de l'excès de l'électricité, on court le risque d'être foudroyé, comme Richman à Saint-Pétersbourg en est un terrible exemple (2).

Ce professeur avait établi un appareil destiné à mesurer la force de l'électricité, lequel consistait en une baguette de métal, qui était en communication avec une tige élevée au-dessus d'un bâtiment; cette baguette aboutissait à un petit vase de verre, dans lequel il avait mis de la limaille de cuivre; et dans la partie supérieure était attaché un fil, qui descendait tout le long lorsqu'elle n'était pas électrisée; mais quand elle l'était, il y avait répulsion et il mesurait l'angle d'écartement. Le 6 juin 1753, il observait l'effet de l'électricité des nuages sur cet appareil, à l'approche d'un nuage orageux; un globe de feu, gros comme le poing, au rapport d'un témoin, s'élança de la baguette sur Richman, qui fut aussitôt foudroyé. Le même coup renversa par terre le témoin et le priva entièrement de ses sens.

---

(1) Lettere dell' elettricismo, p. 263.
(2) Philos. Transac., vol. XLVIII,, part. II, p. 763.

Les physiciens du siècle dernier ne se bornèrent pas à établir les rapports qui existent entre l'électricité et la matière même de la foudre, ils cherchèrent encore d'où pouvait provenir cette quantité si considérable de fluide électrique qui se trouve dans l'atmosphère au moment des orages. Lemonnier, Beccaria, Franklin, Canton, Cavallo, Volta essayèrent tour à tour de résoudre cette question.

Lemonnier est le premier qui ait observé qu'il y avait presque toujours dans l'air de l'électricité, même lorsqu'il n'y avait aucune apparence d'orage (1). Pour étudier avec soin ce phénomène, il fit placer dans son jardin de Saint-Germain-en-Laye une longue tige de métal aussi bien isolée que possible, avec laquelle il obtint des étincelles non seulement dans les temps d'orage, mais encore lorsque l'atmosphère était sans nuages. Il trouva en outre que l'électricité était soumise toutes les vingt-quatre heures à des variations régulières d'intensité. Beccaria donna les lois de ces variations et prouva que, dans toutes les saisons, à toutes les hauteurs et par tous les vents, l'électricité d'un ciel sans nuages était positive. Son appareil ne donnait aucun signe d'électricité, par de grands vents, lorsque le ciel était couvert de nuages séparés et noirs qui avaient un mouvement lent, dans la plupart des temps humides, mais sans pluie actuelle; enfin il reconnut que dans les mêmes saisons, lorsque le ciel était couvert, à la même hauteur, l'électricité n'était pas constamment positive, que lorsque le temps était inconstant et variable, accompagné de bourrasque, de neige, de grêle ou de pluie, l'électricité était très-inconstante tant pour la nature que pour l'intensité; qu'en été, lorsque l'air était rempli de nuages orageux dispersés çà et là, les changements de nature et d'intensité avaient lieu à chaque instant, et qu'il n'y avait aucune électricité dans certaines pluies fines ou brouillards fort épais, tandis que les autres pluies et les brouillards secs

(1) Mémoires de l'Acad. des sciences, 1752, p. 233.

n'avaient jamais empêché de recueillir de l'électricité (1).

Pour remonter à la source de l'électricité atmosphérique, on supposa d'abord que les corps, en changeant d'état, dégageaient toujours de l'électricité, et qu'en prenant une plus grande étendue, ils absorbaient en même temps plus d'électricité aux corps environnants. Aussi disait-on qu'il s'élevait constamment, de la surface de la terre, une quantité considérable de vapeurs qui emportaient dans l'atmosphère un certain excès de fluide positif en laissant à la terre un excès d'électricité contraire.

Canton (2) jeta en avant ces deux questions : L'air raréfié subitement ne peut-il pas donner le feu électrique aux nuages et aux vapeurs qui passent au travers, et l'air condensé ne produirait-il pas un effet semblable? L'aurore boréale ne serait-elle pas due à l'émission du feu électrique des nuages positifs vers les nuages négatifs à une grande distance, à travers la partie supérieure de l'atmosphère où la résistance est la moindre?

Priestley (3) posa aussi plusieurs questions à ce sujet : L'espace vide qui est au-dessus des nuages ne peut-il pas avoir toujours une électricité opposée à celle de la terre? Le tonnerre et les tremblements de terre ne seraient-ils pas dus à un rétablissement d'équilibre entre ces deux électricités?

Beccaria croyait bien que la chaleur contribuait aux phénomènes du tonnerre, de l'éclair et de la pluie, mais il ne put jamais constater, à l'aide de l'expérience, qu'elle tendit à augmenter l'électricité. Alors il supposa qu'elle exerçait une influence, en exhalant l'humidité de l'air et interceptant par là la communication du fluide

---

(1) Philos. Trans., vol. XLVIII, part. I, p. 377, p. 203; t. XIII, p. 1, p. 87. Mémoires de l'Académie des sciences, année 1752, p. 233 et suiv. Lettere dell' lettricismo, p. 106, 114, 165, 166, 176, 347, 284, 288, 299 et suiv.

(2) Philos. Trans., vol. XLVIII, part. I, p. 351.

(3) Hist. de l'électr., t. III, p. 32.

électrique entre un lieu et un autre (1), et surtout entre la terre et les plus hautes régions de l'air (2). Ayant avancé que les nuages servaient de conducteurs, pour transporter le fluide électrique des parties de la terre qui en avaient le plus à celles qui en avaient le moins, il proposa, pour s'assurer de ce fait et reconnaître en même temps la distribution de l'électricité dans l'atmosphère, d'établir deux observatoires, à deux lieues environ l'un de l'autre, dans la direction que suivent ordinairement les nuages orageux, où l'on observerait en même temps l'état électrique des nuages, pour s'assurer s'il n'était pas positif dans un endroit et négatif dans l'autre.

Il émit aussi son opinion sur la cause de l'électricité atmosphérique. Suivant cet ingénieux physicien, les corps légers qui se trouvent à la surface de la terre, sont enlevés par une grande quantité de matière électrique, qui sort de la terre dans les endroits où elle en est surchargée, laquelle attire et emporte avec elle toutes les substances qui peuvent faciliter son passage. Ces corps transporteraient donc dans l'atmosphère l'électricité que nous y rencontrons. Je ne m'étendrai pas davantage sur les idées plus ou moins singulières que l'on a mises en avant, pour expliquer la présence de l'électricité dans l'atmosphère; je me bornerai seulement à dire que l'on demeura généralement d'accord que les actions chimiques qui étaient continuellement produites à la surface de la terre, devaient être une des causes efficientes de l'électricité.

On chercha à vérifier cette conjecture par l'expérience. C'est en France où furent faites les premières tentatives pour recueillir de l'électricité dans l'évaporation et dans certaines actions chimiques (3). Ces expé-

(1) Lettere dell' elettricismo, p. 193 et suiv.
(2) Lettere dell' elet., p. 359.
(3) Mémoires de l'Académie des sciences, an 1781, p. 292 et suivantes.

riences ont été le sujet d'une question de priorité entre Volta d'une part, Laplace et Lavoisier de l'autre; je ne puis mieux faire que de rapporter le passage de l'éloge historique de Volta par M. Arago, relatif à cette discussion : « Volta, à l'aide de son condensateur, obtint « des signes d'électricité négative avec un vase isolé d'où « l'eau s'évaporait. Il est difficile de dire à qui appartient « cette expérience capitale. Volta dit dans ses Mémoires « qu'il y avait songé dès 1778, mais que diverses cir- « constances l'empêchèrent de la tenter. Ce fut à Paris, « dans le mois de mars 1781, qu'elle lui réussit, en « compagnie de quelques membres de l'Académie des « sciences. D'autre part, Lavoisier et Laplace, à la der- « nière ligne du Mémoire qu'ils publièrent sur le même « sujet, disent seulement : *Volta voulut bien assister « à nos expériences et nous y être utile.* D'un autre « côté, dans une note historique publiée par Volta, il « est dit que le premier essai tenté à Paris par Volta et « les deux savants français, fut infructueux, l'état hygro- « métrique de l'atmosphère n'ayant pas été favorable. « Peu de jours après, à la campagne de Lavoisier, les « signes d'électricité devinrent manifestes, quoique les « moyens d'observation eussent été les mêmes; Volta « n'assistait pas à cette dernière épreuve. Ce qu'il y a « de certain dans ceci, c'est que Volta conçut le pre- « mier l'idée de l'expérience, l'a faite infructueusement « de concert avec Lavoisier et Laplace, et que ceux-ci, sans « rien changer aux dispositions de l'expérience, ont réussi. »

Quel que soit le véritable auteur des observations qui furent faites sur le dégagement de l'électricité dans l'évaporation, il est prouvé maintenant que ces célèbres physiciens obtinrent des effets électriques qui ne doivent pas être attribués à l'évaporation, attendu qu'ils opérèrent dans des vases de métal qui étaient attaqués par l'eau. Plus tard, MM. Lavoisier et Laplace tentèrent de recueillir de l'électricité dans les actions chimiques, mais les résultats qu'ils obtinrent ne furent pas plus concluants, comme on le verra plus loin.

§ III. *Travaux de Wilke et d'Æpinus; effets électriques produits par la chaleur et par influence; électromètres, etc.*

J'ai interrompu l'ordre des découvertes pour rapporter de suite tous les faits relatifs à l'électricité atmosphérique; mais j'y reviens maintenant : Wilke et Æpinus ont contribué aussi l'un et l'autre à enrichir la science. Le premier a fait plusieurs expériences intéressantes sur la génération de l'électricité spontanée : ayant fondu du soufre dans un vaisseau de terre placé sur un conducteur, après le refroidissement il enleva le soufre et le trouva électrisé négativement. Avec un vase de verre le résultat fut le même; mais il était plus marqué quand le vase était garni (1) d'une feuille de métal qui communiquait avec la terre. Cette expérience, dont Wilke n'a tiré aucune conséquence, est de la plus haute importance, en ce que Volta y a trouvé le germe de l'électrophore et du condensateur, qui l'ont conduit à la découverte de la pile.

Æpinus, de son côté, fit une expérience semblable et d'autres analogues à celles de Wilke (2), sur le frottement de diverses substances, qu'il m'est impossible de décrire ici. Je me bornerai seulement à rapporter celles qui suivent :

Æpinus ayant pressé l'un contre l'autre deux morceaux de glace de miroir, observa, en les séparant, qu'ils avaient acquis chacun une électricité contraire très-forte (3). Wilke observa qu'au sommet d'un cône électrisé positivement, il y avait une aigrette cylindrique d'où s'élançaient des rayons brillants. Quelquefois, ajoute-t-il, à quelque distance de là, il y a un point lumineux. Il regarda comme le caractère distinctif du cône

(1) Wilke, p. 44.
(2) Æpinii Tentamen, p. 66.
(3) Æpinii Tentamen, p. 65.

positif, le jet de rayons lumineux. C'est la première fois qu'on ait essayé d'établir, quoique d'une manière peu nette, la différence des effets de lumière produits par l'électricité positive ou négative qui s'échappe par des pointes.

Je dois mentionner la théorie mathématique qu'Æpinus a donnée des phénomènes d'attraction et de répulsion électriques (1); la théorie de Franklin, ou d'un seul fluide, avait été attaquée et défendue par des méthodes qui ne donnaient que des à peu près et laissaient par conséquent le champ libre aux discussions. Æpinus entreprit de la soumettre au calcul, pour voir jusqu'à quel point les résultats qu'il en déduirait seraient d'accord avec ceux donnés par l'expérience. Il partit du principe admis par Franklin, que les molécules du principe électrique se repoussaient mutuellement et pouvaient être attirées par celles des corps environnants; il fut conduit à cette conséquence absurde que les molécules de tous les corps devaient se repousser. Il la rejeta d'abord avec indignation et ne se réconcilia avec elle que peu à peu. C'est pour parer à cet inconvénient que l'on considère maintenant le fluide électrique comme formé de la réunion de deux fluides, dont l'un remplit la même fonction qu'Æpinus attribuait aux molécules des corps.

Dès l'instant que les phénomènes électriques commencèrent à prendre de l'extension, on chercha les rapports qui peuvent exister entre le fluide électrique, qu'on appelait le feu élémentaire, et la chaleur. Priestley observa qu'elle facilite le passage de l'électricité dans les corps mauvais conducteurs et le diminue dans les corps conducteurs.

Un minéral, jouissant de singulières propriétés électriques quand il est chauffé, attira l'attention des physiciens; ce minéral nous fut apporté par, les Hollandais, des Indes Orientales et surtout de l'île de Ceylan, où

---

(1) Tentamen theoric. electric. et magnet., p. 39.

les naturels lui avaient donné le nom de *tournamal* ou tire-cendre, en raison de la propriété qu'il acquiert d'attirer les cendres quand on le jette dans le feu.

Lemery (1) annonça, pour la première fois, quelques-unes des propriétés de cette pierre, qui jouissait, disait-il, de la propriété, après avoir été échauffée, d'attirer et de repousser les corps légers qu'on lui présentait, à la manière des corps électrisés.

Le duc de Noia, Wilson, Priestley et d'autres physiciens s'occupèrent également du pouvoir attractif de cette pierre, quand on élève sa température. Plusieurs d'entre eux obtinrent des résultats contradictoires qui furent le sujet de longues discussions (2).

Æpinus est le premier qui ait observé que les attractions et répulsions de la tourmaline étaient dues à l'action du fluide électrique et qu'elle possédait deux pòles doués de propriétés différentes. Canton remarqua qu'elle ne lançait ni n'absorbait le fluide électrique que par l'accroissement ou la diminution de la chaleur, et qu'en la brisant chaque fragment jouissait de la polarité (3).

A la même époque, Priestley chercha à déterminer le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité, en faisant passer la même décharge à travers deux fils de métal différent, de même longueur et de même grosseur; il répéta l'expérience jusqu'à ce que l'un des deux fils fût fondu et dispersé : celui-là était le moins bon conducteur qui se fondait le plus facilement : il trouva que l'ordre de conductibilité était or, argent, cuivre, laiton, fer (4).

Le docteur Watson, dans un Mémoire lu à la Société royale, le 28 juin 1764, annonça que lorsque l'électricité traversait un fil de métal suffisamment fin, ce fil

(1) Hist. de l'Acad. des sciences pour 1717.
(2) Hist. de l'électricité de Priestley, t. II, p. 137 et suiv.
(3) Gentleman's Magazine, septembre.
(4) Hist. de l'électricité, t. III, p. 454.

s'échauffait jusqu'à l'incandescence et tombait ensuite en gouttes qui brûlaient sur la table.

Canton ayant opéré sur un fil de laiton, reconnut sur le papier, avec la loupe, à l'endroit où les gouttes étaient tombées, des particules de cuivre fort rondes et ne put trouver aucune portion du fil de laiton même.

Winkler mit le feu à la graine de lycopodium, en déchargeant au travers une bouteille de Leyde, et fit détonner l'or fulminant.

Déja à cette époque on commençait à rechercher l'influence que l'électricité pouvait avoir comme force chimique. Franklin avait observé que le fer était rongé à force d'être exposé à des étincelles souvent répétées. Priestley, qui rapporte ce fait, ajoute : « Ne doit-il pas « être produit par quelque acide? N'est-il pas possible de « changer les couleurs bleues des végétaux en rouge « par quelque application de l'électricité? Je crois avoir « entendu dire qu'on l'avait fait à Édimbourg (1).»

Beccaria parvint à fondre le verre et le borax avec des décharges électriques, revivifia les métaux de leurs oxides et décomposa le sulfure de mercure (2).

Il observa aussi le premier que, lorsque l'on faisait passer des étincelles dans l'eau, entre deux fils conducteurs, il s'élevait des bulles de gaz dont il ne détermina pas la nature. S'il eût pensé que l'eau n'était pas un élément, cette expérience l'aurait conduit à découvrir sa composition (3).

Hawkesbec avait remarqué que le fluide électrique se frayait forcément un passage à travers toutes les substances légères conductrices, dont il enlevait une partie; ce qui lui rendait plus facile son passage à travers une certaine portion d'un milieu résistant. Ayant mis une feuille d'argent entre deux plaques de cire, il fit passer à travers une décharge, au moyen d'un fil de

---

(1) Priestley, Hist. de l'électricité, t. III, p. 116.
(2) Lettere dell' elettricismo, p. 282.
(3) Elettricismo artificiale e naturale, p. 116.

fer convenablement placé; l'argent fut fondu et une partie dispersée tout le long de la route que prit le fluide électrique, entre les plaques de cire, jusqu'au fil de fer (1).

Priestley, la première fois qu'il fit usage d'une batterie électrique, observa qu'à chaque décharge, il s'élevait une poussière fort noire, même lorsque la chaîne de cuivre dont on faisait usage était fort grosse. Le papier sur lequel était posée la chaîne était marqué d'une tache noire, comme s'il eût été brûlé dans les endroits où les chaînons l'avaient touché. Il reconnut d'abord que l'effet ne devait pas être attribué à des impuretés adhérentes à la chaîne. Ayant examiné avec soin la nature de la fumée noire, il reconnut qu'elle provenait du métal même qui avait éprouvé cette modification, et la considéra comme une combinaison de la chaux du métal avec le phlogistique. Il remarqua aussi, comme Hawkesbec, que les particules des corps détachées par le fluide électrique facilitaient son passage.

Beccaria observa également que l'électricité avait le pouvoir d'emporter sur sa route les substances légères qui pouvaient rendre son passage plus facile.

Peu d'années après la découverte de la bouteille de Leyde, on sentit le besoin d'instruments propres à mesurer l'intensité de la charge, et en général la force répulsive que les particules de chacune des deux électricités exercent les unes sur les autres, suivant leur tension. Le premier instrument de ce genre fut exécuté, en 1749, par deux membres de l'Académie des sciences, Darcy et Leroy; son imperfection ne permit pas qu'il fût adopté (2); Nollet en avait proposé un autre plus sensible, en 1747, plus simple et plus commode, qui se composait de deux fils s'écartant par l'effet de la répulsion, quand ils avaient été électrisés (3). Cavallo, en 1780 (4), perfec-

---

(1) Hist. de Priestley, t. III, p. 282.
(2) Mémoires de l'Académie des sciences, p. 63 et suiv.
(3) Mémoires de l'Académie des sciences, 1747, p. 130.
(4) Traité de physique de Cavallo, p. 129 et suiv.

tionna l'électromètre de Nollet. Il employa deux fils de métal qui portaient, à leurs extrémités, des petites balles de moelle de sureau. Volta se contenta de deux pailles et chercha à prouver, par de nombreuses expériences et en négligeant les effets de la pesanteur, que ce nouvel électromètre possédait seul la propriété de donner, jusqu'à 30°, des écarts angulaires proportionnels aux charges électriques. Saussure, en 1785, ajusta à l'électromètre de Cavallo une tige métallique de 8 à 9 centimètres de long, pour étudier l'électricité atmosphérique; et, afin de l'aller chercher à de plus grandes distances, il attacha à cette tige l'un des bouts d'une corde métallique, et à l'autre extrémité une balle de plomb qu'il lançait en l'air. Volta, deux ans après, augmenta la puissance de cet appareil, en fixant, à l'extrémité supérieure de la tige métallique de Saussure une bougie ou une simple mèche enflammée, pour échauffer l'air environnant, le rendre meilleur conducteur et faciliter ainsi l'écoulement du fluide électrique.

Les actions par influence, qui sont produites par un corps électrisé, placé à peu de distance d'un corps isolé, paraissent avoir été observées, pour la première fois, par les missionnaires de Pékin, qui les annoncèrent, en 1755, en Europe (1). Ils avancèrent que l'électricité, qui était ainsi développée par l'action d'un corps électrisé, se montrait ou disparaissait suivant que les corps étaient séparés ou en contact immédiat. Bientôt après, cette observation intéressante fut l'objet de recherches de la part de Canton, d'Æpinus, de Wilke, de Signa, de Franklin, de Beccaria et de Volta. Canton est le premier qui s'en soit occupé, dans un Mémoire lu à la Société royale le 6 décembre 1753 (2), deux ans avant par conséquent que les lettres des missionnaires ne parussent en France. Mais Wilke et Æpinus sont les physiciens qui ont le plus fait pour avancer

---

(1) Éloge historique de Volta par M. Arago.
(2) Philos. Trans., vol. XLVIII, p. I, p. 350.

cette partie de la science. Voici en quoi consiste ce mode d'action (1). Lorsqu'un corps électrisé est placé à peu de distance d'un autre qui ne l'est pas, ce corps décompose l'électricité naturelle de celui-ci, attire celle de nom contraire et repousse l'autre dans la partie la plus éloignée. Si l'on donne écoulement dans le globe à celle-ci, le corps se trouve posséder un excès d'électricité contraire à celui du premier. Mais si l'on retire seulement le corps électrisé, les deux fluides se recombinent aussitôt pour former du fluide neutre. Volta appliqua ce principe à la construction de l'électrophore, appareil composé d'un gâteau de résine et d'un disque de cuivre, auquel est adapté un manche isolant pour le soulever sans le toucher. Il suffit de frotter la résine avec une peau de chat pour avoir une source continuelle d'électricité, en posant dessus le disque et le toucher du doigt. Volta ne tarda pas à transformer son électrophore en condensateur, véritabe microscope qui décèle la présence du fluide électrique là où tout autre moyen reste muet.

§ IV. *Distribution de l'électricité sur la surface des corps; phénomènes atmosphériques rapportés à l'électricité.*

Les physiciens, depuis Franklin, se sont occupés de déterminer la distribution du fluide électrique sur les corps; Beccaria paraît être le premier qui ait découvert, à l'aide de son puits électrique, qu'il se transporte en entier à leur surface, sans qu'il en reste la moindre trace dans l'intérieur (2).

On fit voir que la capacité électrique d'un corps, soit qu'il fût vide ou plein, était la même, pourvu que la surface ne changeât pas. Lemonier montra que bien

---

(1) Wilke, p. 73 et suivantes. Æpinii Tentamen, p. 129.
(2) Elettricismo artificiale, p. 186.

qu'il y eût égalité de surface, la forme du corps n'était pas sans influence sur la répartition de l'électricité.

Volta, en 1778, publia un travail sur ce sujet, dans lequel il prouva que de deux cylindres de même surface, le plus long recevait la plus forte charge, et en conclut qu'il y avait un immense avantage à substituer aux larges conducteurs des machines électriques, un système de très-petits cylindres, quoique en somme ceux-ci ne formassent pas un volume plus grand. Il avança même qu'en combinant douze fils de mince bâton argenté, de mille pieds de longueur chacun, on se procurerait des étincelles capables de tuer les animaux les plus gros.

A plusieurs reprises l'on s'était occupé de la propriété dont jouit l'étincelle électrique d'enflammer l'alcool, l'éther, la fumée d'une chandelle; mais Volta, en 1777, fut le premier qui fit l'expérience d'enflammer le gaz inflammable dans des vaisseaux clos. En 1781, Cavendish se servit de ce procédé pour opérer la composition de l'eau au moyen de l'étincelle, et Volta lui-même y trouva le germe de son eudiomètre pour l'analyse des gaz, qui est encore le meilleur appareil de ce genre que nous possédions.

Coulomb, de 1785 à 1787, (1) fit plus, pour la statique électrique, que tous ceux qui l'avaient précédé, aussi est-il regardé à juste titre comme le fondateur de cette partie de la physique. Il fut le premier qui porta dans les recherches sur l'électricité une précision mathématique dont on n'avait pas cru possible cette branche de la science. Il découvrit d'abord les lois suivant lesquelles s'opèrent les attractions et répulsions électriques, lois qui sont les mêmes que celles qui régissent le mouvement des planètes autour du soleil : muni d'une balance de torsion de son invention, il compara les intensités des forces électriques, à diverses distances, à des forces capables de tordre un fil de métal d'un certain

---

(1) Mémoires de l'Académie des sciences.

nombre de degrés, et trouva par ce moyen qu'elles agissaient en raison inverse du carré de la distance (1). En substituant au fil de métal un fil de soie, tel qu'il sort du cocon, il transforma la balance de torsion en un électroscope d'une extrême sensibilité, qui lui servit à faire de nombreuses expériences sur le développement de l'électricité par frottement.

Il découvrit ensuite les lois suivant lesquelles l'électricité accumulée sur une surface se perd par le contact de l'air, et les supports qui ne la retiennent qu'imparfaitement (2); pour un même état de l'air dans un temps très-court, la déperdition est proportionnelle à son intensité, indépendamment de la nature de la substance. Relativement à la faculté isolante, il détermina le degré de réaction électrique auquel chaque support commence à isoler parfaitement; l'intensité de cette réaction est proportionnelle à la racine carrée de sa longueur. Cette loi n'a lieu que pour des supports cylindriques très-fins, dont la longueur seule est inégale et dont la nature et la grosseur sont les mêmes, car elle varie avec la nature des substances.

Étant parvenu, au moyen du calcul, à ramener la réaction électrique des corps à un état constant, malgré la déperdition continuelle qui s'opère par l'air et les supports, il chercha le mode de distribution de l'électricité entre les diverses parties d'un même corps, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur; question qui avait attiré, avant lui, l'attention des physiciens.

Il démontra d'abord (3), comme l'avait fait Beccaria, avec son puits électrique, que le fluide électrique se portait en entier à la surface des corps conducteurs, sans qu'il en restât aucune trace à l'intérieur, et de plus, qu'il y était retenu par la pression de l'air ambiant, et

---

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, 1785, p. 569.

(2) Mémoires de l'Académie des sciences, 1785, p. 612 et suivantes.

(3) Mémoires de l'Académie des sciences, 1786, p. 67.

y formait une couche très-mince, dont il détermina l'épaisseur en différents points, en touchant ces points avec un plan d'épreuve qu'il transportait ensuite dans sa balance, pour déterminer la quantité d'électricité enlevée.

Il appliqua ensuite sa méthode à la distribution de l'électricité sur des corps de forme cylindrique et conique, ainsi que sur des lames minces et isolées (1). Dans ces corps, la couche électrique n'a pas partout la même épaisseur; dans des lames très-minces, par exemple, il y a accumulation d'électricité aux extrémités : il trouva, dans ce fait, une explication très-simple du pouvoir des pointes; car la tension électrique étant très-grande à leurs extrémités, ne fait plus équilibre à la pression de l'air et doit s'échapper.

Jusqu'ici je n'ai parlé que des phénomènes dont l'origine électrique a été bien constatée; il me reste à exposer ceux dans lesquels on soupçonnait la présence de l'électricité.

L'aurore boréale est un des phénomènes qui excitèrent le plus la sagacité des physiciens. Les uns pensaient que cette lumière était produite par la réfraction des rayons solaires, d'autres eurent recours au fluide magnétique. Euler crut que la matière de l'aurore boréale était la même que celle de la queue des comètes. Mairan s'imaginait qu'elle résultait d'un mélange de l'atmosphère du soleil avec celui de la terre; mais, quand les propriétés de la lumière électrique eurent été bien étudiées, toutes ces hypothèses furent abandonnées. Eberhart, professeur à Halle, et Paul Frisi, à Pise, furent les premiers qui proposèrent d'expliquer l'aurore boréale par l'électricité, en s'appuyant sur les faits suivants :

1° L'électricité qui passe dans le vide s'y montre sous diverses apparences lumineuses, qui sont les mêmes que celles qu'on observe dans l'aurore boréale.

2° L'air devient moins dense à mesure qu'il s'élève

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, 1787, 1788.

dans l'atmosphère. Dès lors ils regardèrent les aurores boréales comme des décharges électriques, qui ont lieu dans des régions élevées où l'air est très-raréfié. Cette théorie fut adoptée et perfectionnée par Canton, Beccaria, Wilke, Franklin et d'autres physiciens. Nous verrons plus loin que des découvertes récentes ont donné un degré de plus de probabilité à cette manière de voir (1).

On chercha à expliquer aussi au moyen de l'électricité les autres météores, tels que les trombes, les tourbillons, la grêle, etc. On avança que les trombes se formaient d'ordinaire dans un air orageux et rempli de nuages; qu'on les voyait quelquefois lancer des éclairs; que le capitaine Cook fut témoin d'une trombe qui s'évanouit immédiatement après avoir lancé un éclair; qu'on aperçut de petits nuages attirés et repoussés pendant la formation d'une trombe ou peu avant; qu'on a vu, selon Beccaria, des trombes s'évanouir par l'établissement de conducteurs pointus; enfin, qu'il était possible d'imiter les trombes par l'électricité naturelle. Si tous ces faits avaient été bien constatés, il n'y a pas le moindre doute que l'on ne pourrait refuser une origine électrique aux trombes.

Quant au rôle que peut jouer l'électricité dans les tourbillons de vent, la pluie, les brouillards et la grêle, je ne m'y arrêterai pas pour l'instant, attendu que dans cette période, on ne fit aucune observation capable d'appuyer sur des bases tant soit peu solides les idées théoriques qui furent successivement mises en avant.

§ V. *Applications de l'électricité à la végétation, à la physiologie animale, à la médecine et à la phosphorescence.*

On s'occupa à diverses reprises de déterminer l'influence que pouvait avoir l'électricité libre sur la germi-

---

(1) Lettere dell' elettricismo, p. 272. Phil. Trans., vol. XLVIII, part. 1, p. 358. Priestley, Hist de l'électr., t. III, p. 32.

nation et la nutrition des plantes. On avança même que l'électricité atmosphérique exerçait une influence déterminante sur la végétation, et que dans les années orageuses, par exemple, les récoltes de céréales et de légumineuses étaient ordinairement plus abondantes que dans les années ordinaires; mais, si les observateurs eussent tenu compte des effets produits par la température élevée de l'air et les vapeurs qui accompagnent toujours les orages dans les saisons où ils éclatent, ils eussent été plus circonspects dans les conséquences qu'ils tirèrent de leurs observations.

Bertholon, dans un ouvrage assez volumineux, rapporte un grand nombre d'expériences touchant l'influence de l'électricité sur la végétation, lesquelles sont pour la plupart dénuées d'intérêt. La seule conséquence plausible qu'il en tire, est que les graines électrisées lèvent plus promptement et en plus grand nombre, dans un temps donné, que celles qui ne le sont pas, et que l'accroissement des plantes électrisées se fait aussi plus promptement que les autres. Jalabert fut conduit aux mêmes résultats; il paraîtrait donc que le fluide électrique agirait comme excitant sur les végétaux; mais d'autres observateurs trouvèrent le contraire.

Les applications de l'électricité à la physiologie animale et à la médecine furent encore nombreuses, tant on était persuadé dans les premiers temps que l'agent électrique était un principe universel.

On doit faire remonter à la découverte de la bouteille de Leyde les premières expériences qui furent tentées pour déterminer l'influence de l'électricité sur l'économie animale. Cette expérience produisit un effet tel sur ceux qui reçurent les premiers la commotion, que Muschencbroeck écrivait, à ce sujet, à Réaumur, qu'il ne la répéterait pas, quand bien même on lui donnerait la France entière. L'impression morale qu'il éprouva fut telle qu'il en perdit la respiration et, que deux jours après, il était à peine revenu de l'émotion et du malaise qu'il avait ressentis. Winkler assura aussi que la première décharge de la

bouteille de Leyde lui avait occasioné une crampe dans tout le corps et que son sang en avait été tellement agité, que, craignant une fièvre chaude, il avait eu recours à des remèdes rafraîchissants. Les préjugés sur les dangers de l'expérience de Leyde s'étant affaiblis, on s'occupa de son application médicale. Nollet paraît être le premier qui ait mis en pratique le fluide électrique en médecine ; il commença par chercher les effets qu'il produisait sur les liquides pendant une action prolongée. Il observa qu'il accélérait leur évaporation, et que celle-ci était d'autant plus forte que les vases qui les renfermaient avaient une ouverture plus large et étaient formés de substances conduisant mieux l'électricité. Boze, dans le même temps, observait que l'eau électrisée sortait des tubes capillaires en forme de rayons, au lieu d'en sortir goutte à goutte, quand elle ne l'était pas. Ces deux expériences furent regardées comme fondamentales par tous les physiciens qui s'occupèrent de l'application de l'électricité à la médecine.

On se livra à des recherches touchant les effets produits par l'électricité sur les corps organisés; on tua des animaux, on fit périr des plantes, etc.

On donna la commotion d'une batterie de 6 pieds carrés à une grenouille dont on avait ouvert la poitrine, pour voir le battement du cœur au moment de la commotion Les poumons se gonflèrent et furent expulsés du corps ainsi que les autres parties contenues dans la poitrine. Le cœur continua à battre, et pendant dix minutes on n'aperçut pas d'autre signe de vie; ensuite on vit quelques mouvemens sous les mâchoires (1).

Dans une autre grenouille qui reçut une commotion avec une batterie de 33 pieds carrés à travers la tête et le corps, il y eut une espèce de distension de tous les muscles et elle resta ridée. On aperçut ensuite un mouvement sous les mâchoires, puis le long des côtes, et

---

(1) Priestley, t. III, p. 322.

une heure après, elle redevint en apparence ce qu'elle était avant.

Lorsque l'on découvre dans la nature un agent énergique, l'homme qui souffre et celui qui cherche à apporter des adoucissements à ses maux essaient son action sur les organes malades, dans l'espoir d'arriver à une guérison vainement tentée par d'autres moyens; il n'est donc pas étonnant que, dans le dix-huitième siècle, tous les esprits préoccupés des singuliers phénomènes de l'électricité, l'aient regardée, surtout à l'époque où tous ces phénomènes n'avaient pas encore été bien analysés, comme le feu élémentaire, comme la cause qui entretenait la vie dans les corps organisés. Ces corps cessaient-ils d'être dans leur état normal par un trouble quelconque dans le jeu des fonctions, il y avait diminution de fluide électrique; dès lors il fallait leur en redonner une certaine dose. Une théorie aussi spécieuse, que l'enthousiasme seul avait fait naître, ne tarda pas à être renversée; mais si le fluide électrique n'est pas la panacée universelle, il n'est pas dit pour cela qu'il soit sans action sur l'économie animale. Cette action, quelle est-elle? nous l'ignorons encore à l'époque actuelle.

D'un autre côté, cet agent a prêté et prête encore à l'illusion chez les personnes dont le système nerveux est très-excitable, de sorte qu'on lui a attribué probablement quelquefois des effets qui sont le produit de leur imagination.

Pour appliquer l'électricité à l'art de guérir, les physiciens se servirent de machines assez puissantes pour fournir un courant continu d'étincelles plus ou moins fortes; de bouteilles de Leyde de diverses grandeurs, d'un tabouret et d'excitateurs de diverses formes, qu'ils prônèrent comme des moyens infaillibles de guérison. Avec les bouteilles, ils donnèrent des commotions; avec les excitateurs, ils tirèrent des étincelles de diverses parties du corps du patient. Ils administrèrent encore l'électricité sous forme de bain, et crurent reconnaître que l'électricité était de quelque utilité 1° dans quelques-

contractions qui dépendent de l'affection d'un nerf; 2° dans les entorses, relâchements, foulures, etc., lorsque l'inflammation est passée; 3° dans les tumeurs indolentes; 4° dans quelques cas de paralysie. Je ne m'étendrai pas davantage sur l'exposé des cures plus ou moins miraculeuses que l'on a attribuées à l'électricité, attendu que les essais tentés jusqu'ici n'ont pas toujours été couronnés de succès. On ignore même encore si les résultats que l'on a obtenus, dans quelques circonstances, doivent être attribués plutôt à la nature qu'à l'art (1).

Aucune expérience ne pourrait mieux nous faire connaître le rôle que joue le fluide électrique, dans les phénomènes de la vie, que celle qui nous donnerait l'explication des commotions produites, dans les corps organisés, par les poissons électriques; le physicien qui nous révélerait ce mystère ferait faire un grand pas à la physiologie.

Dans le commencement du XVIIIe siècle, les poissons électriques commencèrent à être l'objet des recherches des physiciens. On croyait jadis que les secousses vives que produisent la torpille, le gymnote et autres poissons du même genre, quand on les touche, étaient dues à une propriété engourdissante qu'ils possèdent. Réaumur, en 1714 donna une autre explication; il essaya d'assimiler l'organe de la torpille à un ressort qui, en se débandant, produit des effets analogues à ceux que l'on éprouve à l'instant où l'on touche un corps sonore fortement ébranlé. Aussitôt que Muschenbroeck eut reçu la commotion de la bouteille de Leyde, qui produisit sur lui une impression si forte, qu'il n'eût pas voulu la recommencer pour tout le royaume de France, il la compara sur-le-champ à la secousse que donne la torpille; on commença alors, d'après ce simple rapproche-

(1) Mémoire sur les moyens d'administrer l'électricité par Mauduit, p. 5.

ment, à appeler poissons électriques tous ceux qui donnent des commotions.

En 1772, Walsh étudia avec plus de précision qu'on ne l'avait fait avant lui les effets de la torpille. Il reconnut que l'on recevait la commotion toutes les fois qu'on la touchait avec un bon conducteur, tandis que l'on n'éprouvait aucun effet avec un corps mauvais conducteur. Il résultait de là que la commotion pouvait être communiquée à plusieurs personnes se donnant la main, pourvu que l'une d'elles seulement touchât la torpille. Walsh remarqua encore qu'elle exerçait une influence, à distance, sur les petits poissons. Il constata aussi par un grand nombre d'expériences, que la commotion était le résultat d'un acte volontaire du poisson. Ces observations tendaient à faire croire que la commotion avait une origine électrique.

Walsh obtint les mêmes résultats avec une anguille de Surinam et remarqua, en outre, que l'effet se transmettait même lorsque le conducteur avait une solution de continuité de peu d'étendue. Dans ce cas, l'on voyait dans l'intervalle une lueur semblable à celle de l'étincelle électrique.

On s'occupa, dans le courant de cette période et à plusieurs reprises, des phénomènes électriques de frottement, sans pouvoir cependant rien découvrir sur les causes probables de ce phénomène. On commença aussi à observer quelques effets électriques, dans le contact des corps; mais les expériences qui furent faites à ce sujet par Bennet (1) ne parurent pas d'un grand intérêt. Il était réservé à Volta de tirer un immense parti d'une propriété qui n'avait été qu'entrevue avant lui. Les physiciens qui le précédèrent avaient rempli leur mission, en fondant la statique électrique; ils lui abandonnèrent le sceptre pour créer une branche de l'électricité plus féconde en découvertes.

Wilke avait fait des expériences curieuses sur la lu-

(1) Annales de Chimie, t. LXIII, p. 227.

mière électrique; en frottant l'un contre l'autre deux morceaux de verre dans l'obscurité, il remarqua une lumière phosphorique, qui ne lançait aucun rayon et était adhérente à l'endroit où elle était produite. Elle n'était accompagnée d'aucune attraction ni répulsion. Il en conclut que le frottement seul n'excitait pas l'électricité de manière à l'accumuler sur les corps, et que, pour produire cet effet, il fallait encore que les corps frottés fussent de nature différente, par rapport à leur manière d'attirer le fluide électrique. Il supposa alors que toutes les lumières phosphoriques qui ne produisent pas d'attraction, viennent d'une électricité excitée; il pensa que telle était la lumière que donnaient la pierre de Bologne, le bois pourri, le sucre pilé et les verres de toute espèce.

Beccaria avait fait des observations sur les propriétés lumineuses qu'acquièrent certains corps, quand ils sont exposés à la lumière solaire, propriétés qu'ils conservent pendant quelque temps. Beccaria expérimenta sur les mêmes corps et trouva qu'ils pouvaient également retenir la lumière électrique, c'est-à-dire, qu'ils restaient lumineux pendant quelques instants après avoir fait passer dessus la décharge d'une bouteille de Leyde. Il cita particulièrement le sucre et le linge très-fin et très-sec, en ajoutant que la lumière phosphorique, qui se développait par la percussion, avait la plus grande ressemblance avec la lumière électrique, sans cependant pouvoir démontrer leur identité.

Canton s'occupa aussi de la même question; il étendit le nombre des substances qui devenaient lumineuses après la décharge électrique, savoir, le gypse, les coquilles d'huître et une préparation particulière qui présentait la phosphorescence à un haut degré. Ces expériences étaient sans doute d'un grand intérêt, mais elles ne démontraient que deux choses: 1° qu'il existait une grande ressemblance entre la lumière phosphorique et la lumière électrique; 2° que les corps qui étaient phosphorescents spontanément étaient ceux qui ac-

quéraient cette propriété par la décharge électrique. On avait remarqué souvent qu'un homme placé fort loin de l'endroit où la foudre éclatait, était exposé à être dangereusement blessé ou à perdre la vie, par suite de l'explosion, mais on ne pouvait expliquer cet effet. Milord Mahon, physicien anglais, s'est occupé d'une manière toute particulière de ce phénomène, qui est produit par un rétablissement d'équilibre, auquel il a donné le nom de choc en retour (1).

Bennet, physicien anglais, imagina un électroscope à feuilles d'or (2) qui, quoique sensible, n'indiquait pas les faibles charges d'électricité ; il pensa qu'un corps faiblement électrisé pourrait être placé dans des circonstances telles, que son électricité s'augmentât aux dépens du réservoir commun, et qu'enre nouvelant souvent et avec promptitude ces mêmes circonstances, de faibles doses d'électricité deviendraient sensibles à l'électroscope. D'après ce principe, il conçut un appareil qu'il a nommé doubleur d'électricité (3). Nicholson en construisit dans le même temps un autre, fondé également sur les mêmes principes. Il démontra avec cet appareil que les corps pouvaient changer d'état électrique par le simple contact (4) ; mais il ne tira aucune conséquence de ce fait. Je ne puis m'étendre davantage sur ce sujet, attendu qu'il faudrait donner la description de l'appareil.

---

(1) Principes d'électricité, Londres, 1781, p. 69 et suiv.
(2) Phil. Trans. 1787.
(3) Annal. de Ch., t. XXIV, p. 327.
(4) New Experiments on electricity, par Bennet, publié à Derby, en 1789.

CHAPITRE SECOND.

DU MAGNÉTISME.

§ I. *Propriétés générales des aimants et des aiguilles aimantées.*

Après avoir esquissé l'histoire des découvertes qui ont successivement enrichi l'électricité, depuis les temps les plus reculés jusqu'en 1790, je vais présenter également le précis des observations qui ont été faites sur le magnétisme pendant cette période.

Les anciens connaissaient la propriété dont jouissent certaines mines de fer d'attirer les parcelles de même métal placées à peu de distance. Ils donnèrent aux mines douées de cette faculté le nom de μαγνης, dérivé de Magnésia, contrée de la Lydie où elles se trouvaient en abondance. Pline rapporte que Dinocarès proposa à Ptolémée Philadelphe de bâtir à Alexandrie un temple, dont la voûte, garnie de pierres d'aimant, soutiendrait en l'air une statue de fer de la reine Arsinoé. St. Augustin fait également mention d'une statue suspendue en l'air, au milieu du temple de Sérapis à Alexandrie.

Les propriétés de cette pierre, à laquelle nous avons donné le nom d'aimant, leur parurent miraculeuses comme celles de l'ambre quand il est frotté; aussi lui supposèrent-ils également une ame et plusieurs vertus médicinales. Hippocrate lui-même rangea cette substance au nombre des purgatifs.

On prétend que les Chinois et les Arabes ont connu avant nous les propriétés dont jouit une aiguille d'acier aimantée, librement suspendue, de se diriger vers les mêmes points de l'espace. On se fonde à cet égard sur des documents rapportés dans la description de l'empire

de la Chine par Duhalde, où il est dit que l'on s'y servait de la boussole, pour voyager sur terre, plus de mille ans avant Jésus-Christ.

Le premier ouvrage qui parle de la boussole est un poëme manuscrit du XIIe siècle, en langage ancien, qui existe à la Bibliothèque du roi, et qui est attribué à un certain Guyot de Provins. Il y est fait mention de la boussole, connue alors sous le nom de Marinière. (Legrand, collection des fabliaux et Contes des XIIe et XIIIe siècles.)

Le cardinal Jacques de Vitri, qui vivait vers l'an 1200, parle de l'aiguille aimantée dans son Histoire hiérosolymitaine, et ajoute qu'elle était nécessaire et indispensable aux voyageurs sur mer.

On a dit que cette invention avait été rapportée de la Chine par Marco Paolo, célèbre voyageur, qui était revenu de ces contrées en Europe vers 1295; mais il n'en est nullement question dans la relation qu'il a donnée de son voyage. Ce qu'il y a de certain, c'est que dès 1497, Vasco de Gama, navigateur portugais, fit usage de la boussole dans ses premières expéditions dans l'Inde.

Tels sont les documents les plus authentiques qu'on ait pu recueillir, jusqu'ici, pour remonter à l'origine de la boussole. On voit donc que le nom de celui qui a fait cette grande découverte est encore couvert d'un voile impénétrable.

Dans les premiers temps, on croyait qu'elle se dirigéait toujours vers le nord, mais on ne tarda pas à être détrompé à cet égard. Colomb, qui était à la recherche du nouveau monde en 1492, observa déja que sa direction n'était pas constante.

Thevenot assure, dans ses voyages, avoir vu une lettre de Pierre Adzige, écrite en 1269, plus de 200 ans par conséquent avant Colomb, dans laquelle on disait positivement que l'aiguille déclinait de 5°.

Un manuscrit d'un pilote de Dieppe, nommé Grignon, dédié en 1534 à Sébastien Chabot, fait également men-

tion de la déclinaison de l'aiguille aimantée. Néanmoins on fait honneur aussi de cette découverte à Chabot lui-même, à Gonzalès et à d'autres. Quoi qu'il en soit, la propriété dont jouit l'aiguille aimantée de s'écarter plus ou moins dans chaque lieu, à droite ou à gauche de son méridien, était très-connue dans le seizième siècle.

Les plus anciennes observations un peu exactes sur la déclinaison commencèrent à Paris, en 1550. A cette époque la déclinaison était vers l'est, elle est devenue nulle en 1663, puis elle est repassée à l'ouest en augmentant successivement, et, depuis quelques années, sa marche est décroissante.

Les navigateurs hollandais, en 1599, ont dressé aussi des tables de déclinaison qui sont assez exactes. En 1576, Robert Normann, ingénieur en instruments de physique à Londres, découvrit que l'aiguille aimantée éprouvait encore une autre espèce de variation. On avait eu souvent l'occasion de remarquer que l'aiguille aimantée perdait son horizontalité en approchant vers le nord, et que son pôle austral s'abaissait au-dessous de l'horizon. Comme on ne savait à quelle cause attribuer cet effet, on supposa que l'aiguille n'était pas suspendue par son centre de gravité. Robert Normann ayant placé un contre-poids pour rétablir l'horizontalité, s'aperçut qu'il fallait le changer d'un lieu à un autre; il fut conduit par là à la découverte de l'inclinaison. On ne tarda pas à trouver que pour observer complétement ce phénomène, il fallait que l'aiguille fût libre de se mouvoir dans le plan du méridien magnétique, condition que l'on remplit en la suspendant, par son milieu, à un axe perpendiculaire à ce plan. Quand l'aiguille n'est pas aimantée, elle reste dans une direction horizontale; aussitôt qu'on lui communique du magnétisme, elle se dévie de cette direction d'un certain nombre de degrés. On appela angle d'inclinaison, celui qui mesure cette déviation. En étudiant les propriétés des aimants, on reconnut bientôt qu'ils jouissent non-seulement de la propriété d'attirer le fer doux, mais encore de le transformer en un véritable aimant, tant qu'il se trouve dans leur sphère d'activité.

En retirant l'aimant, le fer rentre dans son état naturel, à moins qu'il n'ait été préalablement tordu, limé, tourmenté d'une manière particulière, car il conserve alors le magnétisme qu'il a acquis par influence. En projetant de la limaille de fer sur une feuille de papier placée au-dessus d'un barreau aimanté, on reconnut que tous les points ne possédaient pas la même puissance attractive; qu'aux extrémités, les filaments de limaille étaient plus longs qu'ailleurs et placés perpendiculairement à la surface, tandis qu'ils devenaient plus courts en s'approchant du milieu où il ne s'en trouvait aucun. On donna le nom de pôles aux deux portions où les parcelles de limaille se réunissent en une infinité de petits filaments parallèles entre eux.

Il résulte de cette observation que, dans chaque moitié d'un aimant, il existe une force identique égale et dirigée en sens contraire. En le brisant, chacune des parties devient un nouvel aimant, possédant aussi deux pôles. Un barreau qui sert à aimanter un autre barreau, ne perdant pas de sa force, on en conclut que le fluide magnétique, pendant l'aimantation, ne passe pas de l'aimant dans le fer.

Dans l'action d'un aimant sur l'acier, l'action par contact est d'abord faible et augmente ensuite au point de transformer l'acier en un aimant, mais il suffit d'un simple frottement pour accélérer l'aimantation. On donna le nom d'aimants artificiels aux barreaux ainsi aimantés. La force qui s'oppose ainsi dans l'acier à la séparation des deux fluides et par suite à leur recomposition, lorsqu'ils sont séparés, a reçu le nom de force coercitive, laquelle est variable dans les différents aciers et même dans chaque acier, suivant le degré de la trempe et de la température.

Le fer peut aussi s'aimanter par l'action du magnétisme terrestre, comme on l'a remarqué souvent. Gilbert, qui écrivait dans le XVI[e] siècle, rapporte que cette observation a été faite pour la première fois sur la tige de la girouette des Augustins à Mantoue. Plusieurs auteurs attribuent cette observation à Gassendi; quel que soit

l'auteur, Gilbert est le premier qui ait donné la théorie du phénomène.

Lorsque la chimie eut augmenté le nombre des métaux, et qu'on eut étudié toutes les propriétés dont ils sont doués, on en découvrit deux qui possèdent, comme le fer, la propriété magnétique.

Ces métaux sont le cobalt, découvert par Brandt en 1733, et le nickel par Croustedt, en 1750.

En cherchant la position des pôles d'une aiguille aimantée, on reconnut qu'elle en avait quelquefois plusieurs; on donna le nom de points conséquents aux pôles intermédiaires. De semblables aiguilles ne peuvent être d'aucune utilité pour les observations relatives au magnétisme terrestre.

§ II. *Mesure des forces magnétiques ; des divers procédés d'aimantation.*

Pendant long-temps, les physiciens n'avaient qu'un seul moyen pour déterminer l'action des forces magnétiques. On mettait en contact avec l'une des extrémités du barreau, un morceau de fer doux, que l'on chargeait de poids jusqu'à ce qu'il tombât. Le poids absolu de ce morceau déterminait la force de l'aimant. Ce procédé n'était susceptible d'aucune précision. En 1789 (1), Coulomb exposa deux méthodes à l'aide desquelles on peut trouver, avec précision, l'intensité des forces magnétiques; l'une est celle des oscillations, dont on se sert aussi pour déterminer l'intensité magnétique du globe, l'autre consiste à comparer l'action magnétique à la force de torsion du fil de la balance dite de torsion, qui lui avait déja servi à déterminer l'action des forces électriques à distance. L'application de ces deux méthodes démontra que les attractions et répulsions électriques étaient en raison directe de la densité du fluide et en raison inverse du carré de la distance (2). Coulomb

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, p. 468 et suivantes.

(2) Mémoires de l'Académie des sciences, 1785, p. 593.

s'occupa en même temps de la solution d'une question importante pour la théorie du magnétisme, de celle relative à la distribution du magnétisme dans les aimants de diverses formes, et de la détermination des pôles. Il employa encore, dans ces recherches, les deux méthodes qui lui avaient servi à déterminer la loi des forces magnétiques, et parvint à ce résultat que, dans les aimants au-dessus de 6 ou 8 pouces de longueur, et dont les dimensions transversales sont égales, mais très-petites relativement à la longueur, les pôles se trouvent toujours à la même distance des extrémités, à 18 lignes environ, et que, dans des aimants très-courts, ces points sont situés au tiers de la demi-longueur, qui est la limite dont les pôles s'approchent sans cesse, à mesure que les aiguilles deviennent de plus en plus petites. Ces observations mirent à même les physiciens de déterminer la meilleure forme à donner aux aiguilles aimantées.

Dès l'instant que l'on eut remarqué qu'une pierre d'aimant était capable de transmettre le magnétisme à un barreau d'acier, par le frottement d'un de ses pôles, on dut rechercher les moyens les plus efficaces pour donner aux barreaux le maximum d'effet. Pendant long-temps on se bornait à passer l'extrémité d'un aimant sur toute la longueur du barreau d'acier. Cette méthode, qui n'est bonne que pour aimanter des aiguilles courtes et d'une petite dimension, a l'inconvénient de donner des points conséquents. En 1745, on commença à perfectionner cette méthode : Knight mit des barreaux fortement aimantés bout à bout sur la même ligne, les pôles inverses en regard, et dessus l'aiguille qu'il voulait aimanter, moitié d'un côté, moitié de l'autre; en les retirant avec frottement dans le sens de leur longueur, l'aiguille acquérait un plus fort magnétisme que par la méthode de la simple touche.

Duhamel perfectionna cette méthode; après avoir placé le barreau à aimanter entre deux barres de fer doux, il prit deux autres barreaux qu'il inclina de 25 à 30°, les pôles inverses en regard, et les fit glisser sur cha-

cune des moitiés du barreau, en se rendant vers les extrémités. Il reconnut que ce procédé, auquel on donna le nom de la touche séparée, était le meilleur pour aimanter les aiguilles de boussole le plus complétement possible. Mitchell modifia cette méthode; il mit en contact, à côté les uns des autres, plusieurs barreaux d'acier et promena sur leur surface deux faisceaux de barreaux aimantés dans une direction perpendiculaire, les pôles inverses en regard et à une distance constante. Æpinus perfectionna ce procédé et montra, en 1758, l'avantage qu'il y avait à se servir des barreaux fixes. Ce perfectionnement consiste dans la disposition et le mouvement des barreaux glissants. Il plaça les barreaux d'acier entre de forts aimants et inclina dessus les aimants mobiles, en les maintenant à une distance fixe. On se sert de cette méthode toutes les fois qu'il s'agit d'aimanter de forts barreaux; elle a cependant l'inconvénient de donner des points conséquents.

Coulomb, en 1789, mit en pratique tous les principes qu'on avait découverts avant lui (1).

En s'occupant de recherches sur les différents procédés d'aimantation, on s'aperçut que la quantité de magnétisme que prenait un barreau d'acier trempé, variait en raison de la trempe et de la force des aimants employés à développer le magnétisme, et que les barreaux atteignaient toujours une certaine limite d'aimantation, qu'on appela point de saturation. On conçoit combien il était important, pour les observations relatives au magnétisme terrestre, de reconnaître si les aiguilles de boussole étaient aimantées à saturation. Pour s'en assurer, on ne trouva pas d'autre moyen que de les réaimanter avec des barreaux plus puissants et de les faire osciller avant et après, pour voir si le nombre des oscillations était le même, dans un temps donné.

Une aiguille de boussole qui est destinée à être trans-

---

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, p. 501 et suiv.

portée sur différents points du globe, est exposée souvent à de grandes variations de température, il était donc important de voir jusqu'à quel point la chaleur influait sur son magnétisme. Gilbert est le premier qui ait observé qu'un aimant perdait complétement son magnétisme quand il était chauffé jusqu'au rouge blanc et qu'il ne le reprenait plus après le parfait refroidissement. Cette question a occupé dans ces derniers temps plusieurs physiciens, qui sont parvenus à des résultats dont je parlerai dans la dernière période. Les barreaux aimantés perdant quelquefois une partie de leur magnétisme, en raison de leur position, par rapport à la résultante des forces magnétiques du globe, on imagina, pour parer à cet inconvénient grave, des armatures, qui sont des pièces de fer doux, mises en contact avec les deux pôles. On chercha aussi les moyens de construire des aimants artificiels, doués d'une grande force. Les premières tentatives de ce genre sont dues à Knight, qui forma des faisceaux magnétiques énergiques, en réunissant ensemble par les pôles de même nom plusieurs aiguilles aimantées. Depuis, ces faisceaux ont reçu de grands perfectionnements par l'addition d'armatures, qui ont augmenté singulièrement leur force. Coulomb s'est beaucoup occupé de cette question, et tous les arrangements de ce genre sont encore exécutés d'après son procédé.

Souvent ces faisceaux ont la forme d'un fer à cheval, disposition qui a l'avantage de rapprocher les pôles et de placer plus facilement l'armature.

§ III. *Des théories imaginées pour expliquer les phénomènes magnétiques.*

Les anciens, comme je l'ai dit, connaissaient la propriété dont jouit l'aimant d'attirer le fer. Les philosophes, tels que Thalès, pour expliquer ce fait. lui supposèrent une ame; d'autres, comme Épicure et Plutarque, admirent, les uns, que les atomes du fer s'accrochaient dans

ceux de l'aimant; les autres, qu'il y avait autour de cette pierre une émanation capable de faire le vide dans lequel le fer se précipitait. D'autres hypothèses aussi absurdes furent successivement mises en avant. Descartes employa ses tourbillons qui, dans leur mouvement rapide de l'équateur au pôle, emportaient les aimants, attendu que la matière subtile de ces tourbillons étant poreuse, et celle des aimants formée de molécules branchues, éprouvait une plus grande résistance de la part de ces dernières que de celles des autres corps. Æpinus donna une explication plus satisfaisante, en partant de l'existence d'un seul principe : il essaya de prouver, par le calcul, que tous les phénomènes magnétiques connus s'expliquaient facilement au moyen des simples lois de l'attraction et de la répulsion. Cette théorie ne put convaincre Euler et Daniel Bernoulli, qui continuèrent à défendre celle de Descartes, en l'appuyant de preuves mathématiques. On reconnut plus tard la nécessité d'admettre deux fluides magnétiques, dont la réunion forme le fluide neutre, de la même manière que les deux fluides électriques composent par leur réunion le fluide naturel. Pour conserver l'analogie qui existe entre ces deux agents, on supposa aussi que les deux fluides magnétiques pouvaient circuler et se répandre dans le fer; mais Coulomb ayant repris cette question, conserva les deux fluides, en rejetant leur circulation dans les corps comme un fait faux (1).

Coulomb a cherché l'action exercée par de forts barreaux sur des aiguilles de diverses substances librement suspendues et placées entre les deux pôles opposés de deux forts aimants; il a trouvé que le nombre des oscillations était plus considérable que dans le cas où les aiguilles se trouvaient hors de la sphère des aimants, et qu'elles se plaçaient dans la ligne des pôles. Ne voulant pas admettre que toutes ces substances pouvaient

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, 1789, p. 481.

acquérir du magnétisme, il supposa que l'action qu'il avait observée était due à une petite quantité de fer répandue dans leur masse; ayant calculé la quantité qui était nécessaire pour produire cet effet, il trouva qu'elle était au-dessous de celle qui pouvait être rendue sensible par les moyens les plus délicats dont l'analyse chimique pouvait disposer.

§ IV. *Variations de la déclinaison.*

Vers 1722, Graham observa pour la première fois que l'aiguille de déclinaison était soumise à des variations diurnes. Ces variations ont été observées depuis avec soin dans presque toutes les contrées de l'Europe. Voici leur marche à Paris : dès l'instant que le soleil se montre à l'horizon, le pôle austral de l'aiguille se dirige vers l'ouest, de une à 2 heures l'aiguille atteint le maximum d'écartement, elle revient ensuite à l'orient par un mouvement rétrograde, de manière à reprendre à très peu près, vers 10 heures du soir, la position qu'elle occupait le matin, et pendant la nuit elle reste presque stationnaire pour recommencer le lendemain ses excursions périodiques. L'amplitude de ces variations varie d'un jour à l'autre; mais Cassini a trouvé que l'angle était plus grand en été, depuis l'équinoxe du printemps jusqu'à l'équinoxe d'automne, que depuis l'équinoxe d'automne jusqu'à celui du printemps. Il a observé encore qu'elles étaient les mêmes dans les caves de l'Observatoire, où la lumière ne pénétrait pas et où la chaleur était sensiblement constante. Dans les régions du nord on les a trouvées plus considérables et soumises à plus d'irrégularités, tandis que vers l'équateur magnétique leurs amplitudes diminuent et deviennent nulles sur l'équateur.

En observant les variations diverses de l'aiguille aimantée, on s'aperçut que leur marche était dérangée quelquefois brusquement et que l'aurore boréale était particulièrement une des causes qui agissaient avec le plus d'éficacité pour produire cette perturbation; pendant toute

la durée de ce météore, l'aiguille aimanté est continuellement agitée et éprouve des déviations considérables.

On a dit, à plusieurs reprises, que les tremblements de terre et les éruptions volcaniques réagissaient sur l'aiguille aimantée et changeaient son inclinaison et sa déclinaison. Daniel Bernoulli constata, en 1767, que l'inclinaison avait été diminuée d'un demi-degré, à la suite d'un tremblement de terre. Le P. de la Torre observa des changements de plusieurs degrés dans la déclinaison, pendant une éruption du Vésuve.

L'étude de l'action magnétique du globe attira de bonne heure l'attention des navigateurs, en raison de son utilité pour les voyages de long cours; aussi cette partie de la science est-elle déja très-avancée. Deux éléments constituent l'action magnétique du globe : la direction que prend l'aiguille aimantée soumise à son action, et l'intensité de cette action; la direction est déterminée par l'inclinaison et la déclinaison, l'intensité par les oscillations. Dès lors les voyageurs ont dû s'occuper de la détermination de ces éléments sur différents points du globe. En étudiant la marche de l'inclinaison en partant de Paris, et se rendant vers le nord, on a trouvé que le pôle austral de l'aiguille s'abaissait au-dessous de l'horizon, que l'angle augmentait en même temps que la latitude et que dans les régions polaires il approchait beaucoup de 90°. On a supposé alors que dans certains points situés à plusieurs centaines de lieues des pôles de la terre, l'aiguille coïnciderait exactement avec la verticale. On a donc été porté à croire que les pôles magnétiques de la terre se trouvaient à peu de distance de ceux de rotation; les observations ont même conduit à admettre qu'il en existait probablement deux dans chaque hémisphère.

En se dirigeant au contraire dans l'hémisphère austral, on a trouvé que l'inclinaison diminuait avec la latitude et qu'il existait non loin de l'équateur des points où l'aiguille était sans inclinaison; qu'au-delà de ces

points l'inclinaison recommençait, mais en sens inverse, et continuait sa route jusque vers le pôle où il existait aussi deux pôles magnétiques.

On a donné le nom d'équateur magnétique à la courbe qui comprend tous les points où l'aiguille aimantée est sans déclinaison. Cette courbe se trouve différer peu de l'équateur terrestre, et son moyen plan n'est incliné que de 12 à 13° par rapport au sien.

D'après les observations qui ont été faites à Paris depuis 1671, l'inclinaison va toujours en diminuant sensiblement, mais d'une quantité variable d'une année à l'autre.

L'intensité magnétique du globe a été l'objet de recherches de la part de Graham, le premier observateur auquel nous devons la découverte des variations diurnes de l'aiguille aimantée; Muschencbroeck en 1629 et Lemonnier en 1776, puis Saussure et Borda s'occupèrent également de cette question : ce dernier donna une méthode d'approximation pour la résoudre avec plus d'exactitude qu'on ne l'avait fait avant lui.

Les navigateurs qui observèrent avec soin la variation de l'aiguille aimantée, reconnurent que le fer qui se trouvait à bord des vaisseaux éprouvait toujours de la part de l'action de la terre des effets qui réagissaient sur les boussoles, au point de faire varier quelquefois les déviations de 15° à 20°. Cette observation fut faite, pour la première fois, par Walès, attaché à l'expédition de Cook. Dowine indiqua plus tard la cause de ces variations et le capitaine Flinders le moyen de s'en garantir.

DEUXIÈME PÉRIODE.

DEPUIS 1790 JUSQU'EN 1820.

CHAPITRE PREMIER.

DU GALVANISME ET DE LA PILE DE VOLTA.

§ I. *Découverte de Galvani.*

SULZER, vers 1802, avait consigné, dans sa Théorie générale du plaisir, un fait, auquel on fit alors peu d'attention et qui contenait cependant le germe d'une des plus grandes découvertes dont les sciences devaient s'honorer. Voici le fait : Si l'on joint, par un de leurs bouts, deux lames de métal, l'une de plomb et l'autre d'argent, et qu'on place l'une d'elles sur la langue, et l'autre dessous, on éprouve une sensation assez analogue à celle que produit le sulfate de fer; on aperçoit en même temps une lueur légère, tandis que chaque pièce prise isolément ne communique aucune impression. Sulzer en tira la conséquence, que la jonction des deux métaux opère, dans l'un ou dans l'autre, ou peut-être dans les deux, une vibration de leurs particules, qui affecte les nerfs de la langue, de manière à produire une sensation particulière. En 1786, Cotugno (1) annonça qu'un élève en médecine, disséquant une souris vivante, fut fort surpris d'éprouver dans la main une

(1) Journal encyclopédique de Bologne, n° 8.

commotion électrique, en touchant, avec son scalpel, l'un des nerfs de l'animal.

Ces deux faits, qui ne se rattachaient à aucune de nos connaissances en physiologie, n'attirèrent que faiblement l'attention des physiciens jusqu'en 1790, où le hasard, mais un de ces hasards heureux dont un homme de génie sait seul tirer parti, conduisit Galvani, professeur d'anatomie à Bologne, à la découverte d'un principe général dont les applications sont immenses pour la philosophie naturelle, et qui permit aussi d'expliquer les faits précédents. Je laisse parler Galvani (1) :

« Je disséquai une grenouille et la préparai, comme l'indi-
« que la figure (cette préparation est celle qui est encore en
« usage pour exciter la grenouille), et me proposant d'en
« faire toute autre chose, je la plaçai sur une petite table où
« se trouvait une machine électrique; elle n'était sépa-
« rée du conducteur que par un petit intervalle. Une des
« personnes qui m'aidaient ayant approché légèrement,
« par hasard, la pointe d'un scalpel des nerfs cruraux
« de cette grenouille, aussitôt tous les muscles se con-
« tractèrent de telle sorte, qu'on aurait dit qu'ils étaient
« agités par les plus fortes convulsions. Une autre per-
« sonne qui faisait avec nous des expériences sur l'élec-
« tricité, remarqua que le phénomène avait lieu seule-
« ment lorsqu'on tirait une étincelle du conducteur de
« la machine. Tandis que j'étais occupé d'autre chose,
« et que je réfléchissais en moi-même, cette personne,
« étonnée de ce fait, vint aussitôt m'avertir. Pour cela
« je suis d'un zèle incroyable; et, brûlant du désir de
« répéter l'expérience, je voulus mettre au jour la cause
« inconnue de ce phénomène. En conséquence, je touchai
« moi-même, avec la pointe du scalpel, l'un et l'autre
« des nerfs cruraux, tandis qu'un de ceux qui étaient

---

(1) De Bononiensi scientiarum et artium Instituto atque Academia Commentarii, t. VII.
De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius.

« présents, tirait une étincelle. Le phénomène se pré-
« senta de la même manière; je vis de fortes contrac-
« tions dans les muscles des membres, comme si l'ani-
« mal avait été pris du tétanos, et cela au moment
« même où l'on tirait des étincelles. » Si Galvani, qui était un excellent anatomiste, eût connu la théorie de l'électricité, il n'aurait vu, dans ce phénomène, qu'un effet du choc au retour, et nous aurions été privés d'une foule de découvertes qui sont venues depuis enrichir la science; mais les mouvements musculaires dont il avait été témoin, lui parurent si singuliers, qu'il voulut en connaître la cause; en conséquence il varia ses expériences d'une foule de manières. Il commença par répéter les contractions sur plusieurs animaux, en interceptant le cours du fluide électrique qui agissait sur l'animal ou sur les corps conducteurs. Il trouva que, sur les animaux vivants, les contractions étaient moins fortes que chez les animaux morts; que parmi les animaux vivants, les plus propres à manifester les mouvements de contraction, sont ceux dont l'âge est le plus avancé, dont les muscles sont plus blancs, et que la préparation de l'animal influe singulièrement sur la réussite des expériences. Galvani chercha ensuite si l'électricité de la foudre produit également les contractions musculaires; tout se passa comme avec l'électricité artificielle; il remarqua, en outre, qu'elles s'accroissent en raison de la proximité du nuage orageux; mais il n'obtint aucun effet avec les lueurs phosphoriques qui se manifestent quelquefois sans orage dans les belles soirées d'été.

La découverte la plus importante de Galvani est celle qui est relative à l'influence des métaux différents, dont il armait les muscles et les nerfs, soit dans l'air libre, soit dans l'air clos, et dont le simple contact suffisait pour produire les contractions. Cette expérience, qui est fondamentale, a servi de point de départ à Volta pour exécuter ses immortels travaux; mais à Galvani appartient la gloire d'avoir fait la première découverte. Il commença dès

lors à soupçonner qu'il pourrait bien y avoir une électricité propre au système des animaux, laquelle passait des nerfs aux muscles par une loi analogue à celle de la décharge de l'électricité ordinaire dans la bouteille de Leyde. L'arc métallique n'était, suivant lui, qu'un moyen d'établir la décharge entre les muscles et les nerfs. Il employa successivement des arcs composés d'un seul métal ou de deux métaux différents, et reconnut que le phénomène était plus marqué dans le dernier cas que dans le premier. Il examina les rapports de l'électricité animale avec l'électricité ordinaire, particulièrement les divers degrés de la propriété conductrice des substances employées dans les expériences, et trouva que l'eau remplissait les mêmes fonctions que les arcs métalliques, tandis que l'huile ne produisait aucun effet.

D'après l'opinion de Galvani, tous les animaux jouissent d'une électricité propre, qui est sécrétée dans le cerveau, et qui réside dans les nerfs, lesquels la transmettent à toutes les parties du corps. Les réservoirs communs sont les muscles, dont chaque fibre doit être considérée comme ayant deux surfaces sur chacune desquelles se trouve l'une des deux électricités positive ou négative; il compara donc les muscles à une petite bouteille de Leyde, dont les nerfs sont les conducteurs. Il croyait que le fluide électrique était attiré de l'intérieur des muscles dans les nerfs, et de ceux-ci sur la surface extérieure des muscles, et qu'il en résultait une décharge électrique à laquelle correspondait une contraction musculaire.

§ II. *Théories des phénomènes galvaniques. Premiers travaux de Volta.*

La théorie de Galvani fut le sujet d'une longue controverse entre ses contemporains; le plus redoutable de ses adversaires fut Volta, professeur de physique à Pavie, et déja célèbre dans la science par la découverte de l'électro-

phore, du condensateur et de l'endiomètre. Il s'appliqua à démontrer qu'il n'existait pas d'électricité particulière propre aux animaux, et que ceux-ci ne servaient seulement que de conducteurs, en raison de l'humidité dont toutes leurs parties étaient imprégnées; il exposa ainsi sa nouvelle doctrine dans le journal de Leipsig, t. XXXIV, art. 14, p. 684 :

« Au commencement de cette année je fus appelé à « l'électricité, à l'occasion des phénomènes vraiment ad- « mirables que le célèbre Galvani, professeur à Bolo- « gne, a découverts et décrits, et par lesquels il paraît « avoir démontré qu'il existe toujours dans les animaux « de chaque espèce une électricité quelconque, excitée « d'elle-même par la force de la vie dans les organes, et « par eux-mêmes, ou plutôt que le fluide électrique, « étant naturellement rompu, ne reste plus dans les « nerfs, mais existe dans quelques mouvements continus « ou dans l'effort qu'il fait pour se jeter sur quelques « parties, suivant qu'il est plus ou moins abondant. J'ai « d'abord répété toutes les expériences de Galvani : « j'en ai ensuite examiné les résultats, ce qui m'a donné « lieu de faire plusieurs découvertes qui ont échappé à « Galvani et aux autres physiciens qui, après lui, ont « couru la même carrière (1).

« En traitant les principales questions, on n'a pas « encore établi si, dans les expériences galvaniques, les « contractions très-fortes excitées dans les muscles et les « mouvements des membres, à cause du double contact, « d'abord sur le muscle, ensuite sur le nerf de l'animal « bien préparé et disséqué avec soin, mouvements que « personne ne doute devoir être attribués au fluide élec- « trique, qui se porte d'une partie à l'autre, au moyen « de l'arc conducteur; si, dis-je, les contractions ont lieu « parce que ce fluide se dirige de lui-même ou par la

---

(1) Volta avait consigné deux dissertations dans le journal de Brugnatelli (Giornale physico-medicale), t. XIV, 1797.

« seule force des organes de l'animal, sur telle ou telle « partie, et qu'on pourrait alors appeler une électricité « véritable et propre à l'animal, ainsi que le prétend Gal- « vani; *ou si cela arrive quelquefois, comme je l'ai « vu dans plusieurs cas, parce que les métaux em- « ployés dans les expériences, étant immédiatement « appliqués sur les parties des animaux pleins de sucs, « peuvent par eux-mêmes et par leur propre vertu, « remuer, exciter, chasser le fluide électrique qui « était en repos, en sorte qu'alors les organes de l'a- « nimal n'agissent que passivement. Il n'y a pas long- « temps, à la vérité, que par des expériences indu- « bitables, j'ai démontré que les métaux et même les « meilleurs charbons de bois étaient non-seulement « les plus parfaits conducteurs de l'électricité, mais « même des excitants par le moyen du simple con- « tact.......... C'est moi qui ai fait la découverte qu'a- « vec les mêmes corps, on peut troubler l'équilibre de « la matière électrique et créer une nouvelle électri- « cité. C'est réellement par eux-mêmes et par leur « propre vertu, en tant qu'ils poussent et forcent le « fluide électrique à entrer dans la superficie qu'ils « touchent, ou à en sortir, que les métaux et les char- « bons excitent cette faible électricité, qu'on ne peut « en aucune manière découvrir par les électromètres « ordinaires, quelque bien faits qu'ils soient, et qui « est assez puissante pour convulsionner les fibres ner- « veuses qu'elle rencontre et les muscles, sans aucune « friction ou autres moyens, pourvu que les métaux « soient convenablement appliqués à l'eau ou à des « corps imbus d'humeur aqueuse, tels que les nerfs et « les muscles des animaux, soit vivants, soit récem- « ment tués.* » Telles sont les premières idées de Volta sur la théorie du contact.

Je dois ajouter que cet illustre physicien, dès l'origine de ses recherches, démontra que l'on pouvait produire des secousses dans la grenouille, aussi bien avec un seul métal,

placé entre deux liquides différents, qu'avec deux métaux mis en contact (1).

Une lutte s'établit entre Galvani et Volta; plus le premier accumulait de faits pour défendre sa théorie, plus le second cherchait à la renverser, en apportant de nouvelles preuves à l'appui de son opinion. On crut un instant Galvani vainqueur quand il prouva, aidé de son neveu Aldini, que l'arc métallique n'était pas nécessaire pour exciter les contractions, puisqu'on les observait encore dans une grenouille nouvellement écorchée, en mettant en contact les muscles cruraux avec les nerfs lombaires. Mais Volta répondit sur-le-champ que ce fait n'était qu'une généralisation de son principe d'après lequel tous les corps suffisamment bons conducteurs se constituaient toujours, par leur contact mutuel, dans deux états électriques contraires.

Volta ne fut pas le seul adversaire qui lutta avec persévérance contre Galvani; M. Pfaff, professeur à Kiel, entra aussi un des premiers dans la lice; il avança (2) que les contractions s'expliquaient très-bien par la force stimulante de l'électricité dégagée, par influence, sans avoir recours à une électricité animale. Il rejeta donc l'électricité positive et négative qui, suivant Galvani, existait à l'intérieur et à l'extérieur des muscles, attendu que cette supposition ne reposait sur aucun fait constaté. Il fit à cette théorie une objection à laquelle il était difficile de répondre : c'est qu'il se produit des contractions à l'instant où l'on ouvre le circuit, tout aussi bien qu'au moment où on le ferme.

Wells observa qu'un seul métal ne pouvait produire les contractions lorsqu'il était très-pur, mais que lorsqu'il était frotté doucement par un de ses bouts sur de l'étain, ou sur un corps quelconque, il devenait alors capable de produire seul des contractions. Il en conclut

---

(1) Bibl. brit., t. XVII, p. 237.
(2) Uber Thieresche und reis barkeit, p. 333.

aussitôt que le principe agissant était le fluide électrique (1).

Crève, professeur à Mayence, chercha une explication du galvanisme dans les irritants chimiques (2). Il avança que, lorsqu'on fait communiquer deux métaux, ou un seul, avec du charbon, l'eau qui entoure le muscle et le nerf se trouve en partie décomposée; l'oxigène, ayant plus d'affinité avec le charbon ou le métal qu'avec l'hydrogène, abandonne ce dernier, et c'est à cette décomposition que les contractions doivent être rapportées. La Société de médecine d'Édimbourg couronna ce travail, dans lequel l'électricité animale était remplacée par l'irritation métallique.

Fabroni traita la question de l'action chimique des différents métaux entre eux, et de leur application aux phénomènes galvaniques. Il est le premier qui ait envisagé la question sous ce point de vue, et je crois qu'on ne lui a pas rendu assez de justice dans la plupart des ouvrages où l'on a exposé le résultat de ses travaux. Il communiqua ses premières recherches à l'Académie de Florence en 1792, deux ans après la découverte de Galvani. Les faits qu'il signalait attirèrent peu l'attention, parce qu'ils étaient en avant des idées reçues dans la science. On va juger de leur importance (3).

Fabroni avait remarqué souvent que le mercure coulant conservait long-temps son éclat tant qu'il était seul, mais que son amalgame avec un autre métal quelconque s'oxidait promptement; que des effets semblables étaient produits sur l'étain fin et des alliages de ce métal. En visitant le musée de Cortone, il avait vu des inscriptions étrusques, gravées sur des lames de plomb pur, qui se trouvaient dans un état parfait de conservation, tandis que, dans la galerie de Florence, des mé-

---

(1) Philos. Trans., 1795; 2e partie, p. 591.
(2) Mémoires de la Soc. médic. d'émulation, t. 1, p. 198.
(3) Recueil périod. de littér. médic. étrangère.

dailles en plomb, dans lesquelles se trouvait de l'étain, ou peut-être un peu d'arsenic, étaient entièrement réduites en poussière blanche, quoiqu'elles fussent enveloppées dans du papier et enfermées dans des tiroirs. Il avait observé aussi en Angleterre que les clous de fer dont on se servait jadis pour assujétir les feuilles de cuivre employées au doublage des vaisseaux, les rongeaient tellement, par leur contact, que bientôt le trou était dilaté jusqu'à surpasser la tête du clou qui les retenait. *Il admit aussitôt que les métaux exercent, dans leur contact mutuel, une action réciproque à laquelle on doit attribuer la cause des phénomènes observés.* Suivant lui, tout métal, comme tout réactif chimique, a une tendance à la combinaison avec un autre métal, dès que leurs molécules viennent à se toucher; ce n'est que la supériorité immense de leur force de cohésion qui s'oppose à la combinaison. Le feu n'est nécessaire que pour détruire la force d'agrégation des molécules : les métaux, en exerçant leur force d'attraction réciproque, doivent diminuer d'autant la force d'agrégation respective, d'où il résulte que bien qu'aucun d'eux ne puisse attirer séparément l'oxigène de l'atmosphère ou l'arracher à l'eau, ils en acquièrent le pouvoir par leur simple attouchement mécanique, attendu qu'ils passent à des combinaisons nouvelles. Il supposa dès lors qu'au moins quelques-uns des effets produits sur le corps animal par les armatures métalliques appliquées aux nerfs et aux muscles recouverts d'une couche d'humidité, pouvaient être attribués à une opération chimique, au passage de l'oxigène d'une combinaison quelconque à une combinaison nouvelle. Relativement aux signes d'électricité que Volta avait recueillis, en séparant deux métaux qui avaient été mis en contact, Fabroni regarda cet effet comme très-naturel, puisque les opérations chimiques sont accompagnées de marques sensibles d'électricité. Il avoua donc que la cause des contractions était due à l'action chimique et non à l'électricité qu'elle produit, laquelle, suivant lui, n'était qu'un effet secondaire qui, à la vé-

rité, pouvait exercer une certaine influence sur la production des phénomènes. Ayant reconnu dans l'expérience de Sulzer que la sensation était à peine sensible, quand il essuyait la langue, il regarda ce fait comme venant à l'appui de sa théorie, puisque l'action chimique était alors très-faible. Il attribua donc la sensation produite sur la langue à la formation d'une substance sapide.

Il fit d'autres expériences, pour vérifier cette conjecture, que je ne puis rapporter toutes ici, mais qui sont assez concluantes.

Ayant mis dans des vases remplis d'eau des métaux de différentes espèces en contact, deux à deux, il observa que le métal le plus oxidable s'oxidait visiblement à l'instant même du contact. Un mois après, les deux métaux avaient contracté une adhérence si considérable, que, pour détacher une pièce de cuivre jaune de dessus une plaque d'étain, il fallut employer un effort de deux kilogrammes; non-seulement plusieurs métaux s'étaient chargés d'oxide, mais il s'était aussi formé de petits cristaux de différentes figures; il lui parut évident qu'il y avait eu une action chimique comme dans l'expérience de Sulzer, et que le stimulant pouvait être, ou le calorique qui se dégage, ou l'oxigène qui passe à des combinaisons nouvelles, ou enfin un nouveau sel métallique.

En recouvrant d'une légère couche d'huile l'eau du gobelet où étaient les deux métaux en contact, l'oxidation était très-faible et s'arrêtait à un certain point. Elle était également interrompue si l'on excluait le contact libre de l'atmosphère, au moyen d'une petite cloche renversée sur du mercure. Dans quelques cas, si l'on substituait au contact de l'air libre un oxide métallique bien chargé d'oxigène, on obtenait également la combustion du métal.

Enfin Fabroni conclut de ses recherches expérimentales, que le phénomène de Sulzer et les autres effets galvaniques n'étaient que des opérations chimiques. Certes,

on ne peut exposer avec plus de précision les phénomènes chimiques qui ont lieu au contact des métaux, et je crois que c'est justice de regarder Fabroni comme le premier physicien qui *les ait observés* et qui ait *démontré la nécessité d'une action chimique dans les effets galvaniques.*

Valli (1) présenta à l'Académie des sciences un Mémoire dont voici les principaux résultats : du plomb de vitrier, pris pour armature, ne produit aucun effet avec un excitateur du même plomb, mais il n'en est pas de même en employant du plomb de diverse qualité. Quand une grenouille a éprouvé des contractions pendant un certain temps, et qu'elles diminuent, il suffit de la laisser reposer quelques instants pour la mettre en état d'en produire de nouvelles. Les secousses sont généralement plus fortes lorsque l'on porte l'excitateur, des muscles à l'armature, plutôt que de l'armature aux muscles.

Le gaz hydrogène qui avait asphyxié une fauvette, ne lui enleva pas la propriété de se contracter; il en fut de même d'un chien tué par l'arsenic.

Il remarqua aussi que les différents métaux employés comme armatures ou comme excitateurs, présentaient des phénomènes particuliers suivant leur nature, que l'or et l'argent, par exemple, ne donnaient que des effets très-faibles. Il essaya de prouver que les mouvements que l'on fait naître par le procédé de Galvani diffèrent de ceux que l'animal produit par sa volonté, et que ces deux espèces de mouvements n'ont pas une origine identique (2). On lui doit une observation importante qui prouve combien l'action chimique influe sur les phénomènes galvaniques ; lorsque l'armature est restée quelque temps en contact avec des nerfs, tout mouvement cesse, mais si l'on change l'armature de place, les effets reparaissent. Quoique la plupart des

(1) Médecine éclairée par les sciences physiques, t. IV, p. 66.
(2) Hist. du galvanisme par Sue, t. I, p. 54.

expériences de Valli fussent favorables à la doctrine électro-chimique, il n'en adopta pas moins l'idée d'une électricité inhérente aux parties animales, avec cette modification que l'intérieur des muscles est négatif, et l'extérieur positif.

Parrot, de l'Académie de St.-Pétersbourg, fut également un des défenseurs de la théorie électro-chimique ; mais il n'étaya pas son opinion d'expériences aussi nettes que celles de Fabroni et des autres physiciens dont je viens de parler.

§ III. *Rapport de la commission de l'Institut de France; travaux physiologiques de M. de Humboldt.*

L'École de médecine de Paris prit un vif intérêt au galvanisme. Une commission choisie dans son sein fut chargée de répéter toutes les expiences qui avaient été faites depuis 1790 pour constater les effets observés.

L'Institut national de France, ébranlé par le mouvement général, nomma aussi une commission, composée de Coulomb, Sabattier, Pelletan, Charles, Fourcroy, Vauquelin, Guyton et Hallé, pour examiner et vérifier les phénomènes galvaniques. Cette commission désigna pour son rapporteur Hallé, qui avait déja rempli les mêmes fonctions auprès de celle de l'École de médecine (1).

La commission établit une distinction entre le fluide électrique et le fluide galvanique, et crut voir dans l'organisation animale un principe dans lequel réside l'essence des rapports mutuels du système nerveux et du système musculaire. Elle signala particulièrement, dans son rapport, les faits suivants comme des premiers aperçus.

L'arc animal peut être formé, ou par des nerfs et des muscles contigus entre eux, ou par des nerfs seulement; en raison de cela la partie essentielle est le nerf. Cet arc

---

(1) Recueil de la Société libre de médecine du Louvre, t. IV, p. 284.

Journal de physique, brumaire et frimaire an VII.

n'est point interrompu par la section d'un nerf ou sa ligature, pourvu que les parties liées ou divisées restent contiguës entre elles.

Ce fait seul me semble établir une différence entre les phénomènes galvaniques et ce qui se passe dans l'action musculaire, puisqu'il suffit de couper un nerf dans un animal, ou de le serrer par une ligature, pour faire perdre la faculté de se mouvoir aux muscles auxquels il se distribue.

Les organes musculaires sont toujours ceux où vont, en définitive, se terminer les nerfs compris dans l'arc animal complet; d'où il suit que les muscles affectés sont toujours ceux qui répondent à l'extrémité de l'arc la plus éloignée de l'origine des nerfs qui le composent. Lorsque l'origine de tous les nerfs qui composent l'arc animal est tournée vers une de ses extrémités, les muscles seuls qui répondent à l'autre extrémité éprouvent les convulsions galvaniques.

La disposition de l'arc excitateur la plus favorable aux contractions est celle où il entre trois pièces au moins de différentes natures, prises parmi les métaux, l'eau, les substances humides, charbonneuses ou animales, dénuées d'épiderme. Cet arc paraît être efficace, lors même qu'il n'est formé que d'une seule nature de substance convenable. La moindre différence de nature apportée dans les parties suffit pour lui rendre l'éfficacité que lui aurait ôtée l'identité des substances.

L'influence galvanique paraît s'exciter par l'exercice, s'épuiser par la continuité du mouvement et se réparer par le repos. Il résulte de là *que la multitude des causes qui influent sur le résultat des expériences galvaniques*, *doit* inspirer beaucoup de réserve sur les conséquences qu'on doit en tirer. Il est donc nécessaire, pour l'exactitude des expériences et leur appréciation, de s'assurer de l'état de l'animal, de la manière dont il a été conservé et entretenu jusqu'au moment de l'épreuve, ainsi que de l'état de l'atmosphère.

La commission reconnut que l'étincelle électrique suffit pour rétablir la susceptibilité des animaux épuisés par des expériences répétées. Elle essaya sur des organes musculaires épuisés l'alcool et le chlore, ainsi que la dissolution de potasse et celle d'opium, en employant pour support l'argent et le zinc.

L'immersion des muscles et des nerfs dans l'alcool et les dissolutions opiacées affaiblit et va même jusqu'à éteindre leur susceptibilité.

Les muscles des animaux tués par des décharges électriques éprouvent un accroissement de susceptibilité galvanique, tandis que cette propriété subsiste sans altération dans les animaux asphyxiés par la submersion, dans le mercure, par le gaz hydrogène, etc., et s'affaiblit après les asphyxies par l'hydrogène sulfuré, l'azote, l'ammoniaque, et s'anéantit dans des animaux suffoqués par le gaz acide carbonique.

M. de Humboldt fit, sous les yeux des commissaires, plusieurs expériences qui avaient pour objet l'action du galvanisme sur les mouvements du cœur, l'effet de la ligature des nerfs et celui des substances évaporables placées dans différentes parties de l'arc excitateur. Il annonça que le temps où la susceptibilité se trouve la plus grande est la fin de l'hiver et le commencement du printemps, époque où l'animal sort de son engourdissement et où il est près de s'accoupler; passé ce temps et l'accouplement fini, la susceptibilité diminue. Lors de l'accouplement, M. de Humboldt assure qu'elle est, toutes choses égales d'ailleurs, chez le mâle plus forte dans les extrémités antérieures, avec lesquelles il embrasse et serre la femelle, que dans les extrémités postérieures, et qu'en tout temps elle est en général plus grande dans les femelles que dans les mâles, particulièrement dans les extrémités postérieures.

M. de Humboldt publia un ouvrage en allemand, sur le galvanisme, qui a pour titre : Expériences sur le galvanisme et en général sur l'irritation des fibres musculaires et nerveuses, lequel a été traduit, en 1799, par

M. Jadelot, médecin. On y remarque particulièrement les faits suivants :

Le diaphragme, dans les animaux à sang chaud, est le muscle sinon le plus fortement, au moins le plus facilement irritable. Le galvanisme peut exciter des mouvements dans les organes indépendants de la volonté, tels que le cœur et l'estomac. Les phénomènes de contractions peuvent avoir lieu sans l'intervention d'aucun corps extérieur. L'excitabilité est portée à un degré supérieur à ce qu'on avait remarqué dans l'état naturel, en baignant les nerfs des animaux dans une solution de sels alcalins ou dans le chlore.

M. de Humboldt, désirant savoir si les mouvements musculaires et les sensations que le galvanisme produit, se prolongent après que la chaîne a été fermée, eut le courage de se faire appliquer deux vésicatoires sur chacun des muscles deltoïdes ; l'une de ces plaies fut fermée avec une médaille d'argent et l'autre avec une lame de zinc, et la communication fut établie entre les deux avec un arc de métal. Après un seul contact, les muscles de l'épaule et du cou se contractèrent alternativement et il en résulta une cuisson ; il distingua très-bien trois ou quatre coups simples, et souvent deux de ces coups ne se faisaient sentir qu'après que le zinc avait été posé pendant quelque temps sur la peau mise à nu. Lors qu'on eut répandu sur l'armature quelques gouttes d'une solution alcaline, l'excitabilité des organes fut considérablement augmentée et les douleurs devinrent très-violentes. Il signale ensuite l'existence de la fibre irritable dans le règne végétal et dans les insectes qui sont doués d'une grande irritabilité. Les poissons, en raison de leur organisation nerveuse, lui ont paru extrêmement propres aux expériences galvaniques. « J'ai vu, dit-il « des poissons auxquels on avait coupé la tête une demi « heure auparavant, frapper leur queue galvanisée d « manière que tout leur corps sautait assez haut sur l « table où ils étaient posés. » En employant le chlore on avait peine à se rendre maître des poissons, surtou des anguilles et des tanches.

M. de Humboldt rapporte un fait remarquable, qui doit être pris en considération par ceux qui s'occupent de l'application du galvanisme à la médecine : il a vu l'inflammation se développer dans une plaie de la main par l'application de l'irritation métallique; il a constaté aussi ce fait sur lui-même à plusieurs reprises. Ayant appliqué deux vésicatoires sur les muscles deltoïdes et posé dessus des armatures après l'ouverture des vésicules, il en résulta aussitôt un nouvel écoulement de sérosité avec changement de couleur, douleur très-forte, rougeur et inflammation.

Achard de Berlin avait établi le premier une communication entre la bouche et l'anus avec du zinc et de l'argent (1). Il excita par ce moyen des douleurs dans le bas-ventre, augmenta l'énergie de l'estomac et opéra un changement dans les évacuations alvines. M. de Humboldt, considérant que tous les nerfs du tronc étaient excités dans cette expérience, conçut l'idée d'essayer si une irritation aussi active ne pourrait point rappeler à la vie des petits animaux très-irritables, lorsqu'ils étaient atteints d'une mort apparente; il choisit une linotte qui allait expirer, dont les yeux étaient déja fermés et qui était étendue sur le dos. Aussitôt que la communication galvanique fut établie entre le bec et le rectum, l'oiseau ouvrit les yeux, se leva sur ses pattes en battant des ailes, respira pendant 6 ou 8 minutes, et expira tranquillement.

M. de Humboldt rapporte une observation intéressante du docteur Grapen Giesser, médecin à Berlin, relative à l'influence de l'irritation des nerfs sur les mouvements péristaltiques du canal intestinal, d'où il conclut que ce mouvement est uniquement l'effet des nerfs, puisqu'il est impossible d'irriter le canal intestinal sans irriter les filets nerveux qui se distribuent dans le tissu cellulaire, les membranes et les vaisseaux des intestins.

---

(1) Histoire du galvanisme, t. II, p. 78.

Schmuch avait observé le premier l'excitabilité du cœur par le fluide galvanique. Pfaff, Ludwig, Crève et Webster confirmèrent cette observation sur les grenouilles.

M. de Humboldt reprit ces expériences et trouva qu'elles réussissaient toujours sur le cœur des grenouilles, des lézards et des crapauds. Celui des grenouilles, qui est le plus excitable par le chlore, l'est aussi le plus par l'irritation métallique; il en tire la conséquence que l'irritation métallique agit et sur les muscles dépendants de la volonté, et sur ceux qui en sont indépendants, quoique plus faiblement sur ceux-ci. M. de Humboldt, dans la théorie qu'il a donnée de tous ces effets, n'a pas adopté les idées de Volta; mais aussi à cette époque, la pile n'était pas encore découverte, et il était permis de douter. Au surplus, les théories passent, et les faits bien observés, que nous devons à ce savant célèbre, resteront toujours.

M. Pfaff (1) chercha à prouver que l'action chimique des différents corps sur la fibre, telle que M. de Humboldt l'avait admise, n'agissait pas comme exaltant l'irritabilité, mais que tous les corps constituaient une chaîne par leur contact mutuel.

Il avança que ces corps ressuscitaient les contractions d'une manière très-efficace, lors même qu'ils n'étaient pas appliqués immédiatement aux nerfs, mais seulement mis en relation avec eux par des conducteurs. Il ne tint pas compte, dans cette circonstance, de leur réaction sur ces derniers, qui cependant était la cause influente.

§ IV. *De la pile de Volta et des premières observations relatives à son action chimique.*

La lutte continuait toujours entre les partisans de

(1) Archives du Nord, 1er cahier d'un journal publié en 1792 à Copenhague, et Recueil périodique de la Soc. de médec. de Londres, t. IX, p. 100.

Galvani et ceux qui attribuaient les contractions soit à l'électricité dégagée dans le contact, comme Volta, Pfaff, etc., soit à l'action chimique, comme Fabroni et autres, lorsque le 20 mars 1800 (1), Volta écrivit à sir Joseph Bank, président de la Société royale de Londres, pour lui annoncer une de ces grandes découvertes qui lèvent tous les doutes et impriment une direction nouvelle aux sciences; cette découverte était celle de la pile, l'instrument le plus précieux que les sciences aient produit, et auquel la reconnaissance publique a donné le nom de son illustre auteur.

Volta, qui s'était efforcé à prouver que le galvanisme n'était qu'une application de l'électricité à l'économie animale, chercha les moyens d'en augmenter les effets au point de rendre leur véritable nature évidente pour tout le monde. Il découvrit qu'en multipliant des couples formés de disques de cuivre et de zinc soudés ensemble, et les plaçant toujours alternativement en les séparant par des corps humides, tels que des rondelles de drap humectées d'une dissolution saline, on produit des attractions, des répulsions et des commotions semblables à celles que l'on obtient avec la bouteille de Leyde, et qu'en général l'extrémité zinc manifeste à l'instant toutes les apparences de l'électricité positive, et l'extrémité cuivre celles de l'électricité négative. Cet appareil diffère d'une bouteille de Leyde, en ce que celle-ci, une fois déchargée, ne présente plus d'effet, tandis que la pile s'électrise constamment elle-même, et que les effets se renouvellent sans cesse pendant un certain temps sans que l'on soit obligé de rien changer dans l'appareil.

Volta remarqua que son action sur les endroits où l'épiderme était enlevé était plus piquante du côté négatif de l'appareil que du côté positif, et prouva, par un

---

(1) Journal de Nicholson, juillet 1800; Bibl. britan., n° 114, p. 3; Journ. de Phys., an IX.

grand nombre d'expériences, que les effets sont les mêmes, soit qu'on mette immédiatement en contact le zinc et l'argent, soit que l'on établisse la communication avec plusieurs métaux différents, pourvu que l'on sépare chaque couple par de l'eau. Il fut étonné de voir que l'éclair galvanique n'était pas plus fort avec cet appareil qu'avec une simple paire de disques. Ayant introduit dans chaque oreille une sonde métallique, il fit passer la décharge au travers de sa tête, et entendit un son particulier comme une ébullition. Il remarqua que l'appareil perdait de son énergie à mesure que les rondelles humides se desséchaient; pour prévenir cet effet, il l'enferma dans de la cire ou de la poix, et parvint ainsi à le faire fonctionner pendant plusieurs semaines.

La combinaison dont il se servait le plus habituellement était formée d'une rangée de verres ou de tasses remplies d'eau chaude ou d'une dissolution de sel marin. Il plongeait dans chacune une plaque de zinc et une d'argent qui ne se touchaient pas, puis il établissait la communication entre ces tasses, mettant en contact le zinc de l'une avec l'argent de l'autre. Il donna à cette pile le nom *d'appareil à couronnes de tasses*, qu'on lui a conservé.

Immédiatement après la découverte de Volta, Nicholson et Carlisle (1) se livrèrent à une suite de recherches du plus haut intérêt, avec une pile composée de 17 petits écus et d'autant de pièces de zinc et de carton mouillé.

Ils observèrent d'abord que le courant était transmis au travers de certains conducteurs liquides, et arrêté par les corps mauvais conducteurs.

Une odeur s'étant manifestée dans certains cas, pour en reconnaître la cause, Nicholson imagina de placer dans le circuit, entre le haut et le bas de la pile, un tube de verre rempli d'eau, par les extrémités duquel il

(1) Bibl. britan., t. xv, p. 11.

fit entrer deux fils de cuivre, en communication chacun avec une des extrémités de la colonne voltaïque et dont les pointes étaient éloignées l'une de l'autre d'environ deux pouces. Il vit paraître aussitôt un petit courant de bulles très-fines. Ces bulles semblaient sortir de la pointe qui communiquait avec la pièce d'argent. La pointe opposée se ternissait à mesure et prenait une couleur d'abord orange foncée, puis noire. En renversant le tube, les effets étaient contraires. Le gaz dégagé, ayant été mêlé avec une quantité égale d'air commun, il détonna par l'étincelle électrique. Nicholson fut étonné de voir que l'hydrogène se dégageait à un des fils, tandis que l'oxigène se combinait avec l'autre.

Carlisle répéta l'expérience avec des fils de cuivre et de l'eau colorée en bleu par le tournesol; l'eau devint rouge au bout de dix minutes environ, jusqu'à la hauteur de l'extrémité supérieure du fil inférieur; le reste de la liqueur conserva la couleur bleue. Un acide avait donc été transporté au pôle positif.

Nicholson observa que la décomposition chimique avait lieu entre chaque paire des deux métaux; que le zinc s'oxidait à sa surface; que le sel marin se décomposait et fournissait une efflorescence de soude sur le cuivre. Les deux physiciens n'ayant pu s'occuper en commun des mêmes recherches, Nicholson les continua seul, et, après avoir préparé des piles avec des lames de diverse épaisseur, il trouva que la prolongation de la série alternative était plus efficace que l'augmentation des surfaces de contact, et que l'épaisseur des plaques ne contribuait en rien à l'effet.

Il répéta la même expérience, en employant deux fils de platine, et vit alors un dégagement de gaz à l'extrémité de chaque fil; il en conclut que la décomposition de l'eau s'était opérée par l'action galvanique.

Les deux gaz ayant été recueillis séparément et mesurés, il trouva que leurs volumes étaient dans le rapport de ceux des parties constituantes de l'eau. Ayant mis de l'eau acidulée dans le tube et opérant avec des fils

de cuivre, le fil négatif donna un peu d'hydrogène, tandis que l'autre, attaqué à sa surface, ne se recouvrit point d'oxide; mais il se fit un dépôt de cuivre métallique à l'extrémité du fil négatif; ce dépôt, au bout de quatre heures, avait la forme d'une végétation métallique.

C'est la première observation relative au transport d'une base au pôle négatif. Il annonça encore la formation d'une substance saline et d'une substance alcaline à chacun des deux pôles de la pile (1).

Cruiskhanks, à Woolwick, découvrit, en même temps que Nicholson et Carlisle, les décompositions chimiques par la pile (2).

Une solution de muriate d'ammoniaque était préférable, suivant lui, à l'eau pure pour humecter le carton interposé entre les couples zinc et argent. Il observa également la décomposition de l'eau avec des circonstances particulières, suivant la nature des conducteurs qui plongeaient dans l'eau. A l'extrémité du fil positif, il s'était formé un nuage blanc qui avait pris peu à peu une couleur plus foncée. Il se demanda ce qu'était devenu l'oxigène, mais il ne put entrevoir la réponse; il soupçonna que le dépôt dont on vient de parler était du muriate d'argent provenant du fil attaqué, qui avait été dissous et précipité ensuite par les sels muriatiques contenus dans l'eau commune.

Cruiskhanks n'employait dans ses expériences que des fils d'argent pur. Quand il ajouta du vinaigre dans l'eau, une certaine quantité d'argent fut dissoute, laquelle se précipita ensuite à l'état métallique sur le fil négatif. Enfin, ayant opéré avec deux tubes remplis d'eau, joints par un fil d'argent et en communication chacun avec l'une des extrémités de la pile, il vit le gaz se dégager à l'extrémité du fil d'argent entrant dans le premier tube, tandis que le bout du fil opposé, dans le

(1) Nicholson's Journ., p 183.
(2) Journ. de Nicholson, juillet 1800.

même tube, fut attaqué; l'inverse fut produit dans l'autre tube (1). Dans la décomposition de l'eau, la quantité d'oxigène était d'autant plus grande avec des fils d'or, qu'ils renfermaient moins d'argent. On lui doit un appareil pour recueillir séparément chacun des deux gaz. Au moyen du gaz nitreux et de l'étincelle électrique, il reconnut que le gaz provenant du fil négatif était de l'hydrogène, et celui qui se dégageait de l'autre côté de l'oxigène pur, quelquefois mélangé d'un peu d'azote.

En opérant avec de l'eau distillée, il crut avoir formé de l'acide et de l'alcali; mais nous verrons plus tard la cause de cette production. Il observa encore les effets obtenus avec les fils d'or ou de platine sur les teintures de tournesol et de bois du Brésil, ainsi que le transport des métaux au pôle négatif, sans qu'il y ait dégagement d'hydrogène. Enfin Cruiskhanks tenta de découvrir quelles étaient ces substances acide et alcaline qui se manifestaient aux pôles opposés de la pile et que Nicholson avait signalées (2). Il supposa que l'acide était le nitrique, et l'alcali l'ammoniaque. Ritter (3) observa aussi les phénomènes de décomposition de la pile. Il annonça que non-seulement les sels métalliques, mais aussi les sels terreux, semblaient être décomposés par la batterie électrique; que la base rendue libre était transportée au pôle négatif et l'acide au pôle positif, et qu'il n'était pas invraisemblable que plusieurs acides fussent décomposés. On voit donc qu'il obtint les mêmes résultats que Nicholson, Carlisle et Cruiskhanks.

William Henry (4) décomposa l'ammoniaque. Je passe sous silence ses autres observations électro-chimiques, parce que la plupart sont remplies d'erreurs.

---

(1) Bibl. britann., t. XVI, p. 23.
(2) Nicholson's Journal, t. IV.
(3) Nicholson's Journal, août 1800.
(4) Journal de Chimie de Van Mons, n° 2, p. 121.

Davy (1) s'occupa des mêmes recherches et en communiqua le résultat à Nicholson. La pile dont il fit usage avait 110 couples. En examinant s'il y avait possibilité d'obtenir séparément l'oxigène et l'hydrogène avec des portions d'eau qui n'étaient pas en contact l'une avec l'autre, il reconnut que la fibre musculaire transmet mieux l'électricité que la fibre végétale, et celle-ci mieux que le fil humecté ; après avoir établi la communication avec un morceau de muscle frais entre deux verres séparés remplis d'eau, lesquels communiquaient avec la pile au moyen de fils d'or, il recueillit les gaz, les pesa, et reconnut que le pôle négatif avait dégagé de l'hydrogène presque pur.

Ayant constaté, comme plusieurs physiciens l'avaient trouvé avant lui, que l'on pouvait extraire séparément de deux quantités d'eau, communiquant ensemble par des conducteurs métalliques ou des fibres musculaires, de l'oxigène et de l'hydrogène dans les proportions voulues pour faire de l'eau, il chercha à reconnaître si le contact des fils de métal avec les disques métalliques de l'appareil était indispensable ; le circuit ayant été formé, Davy observa avec surprise que le bout du fil plongé dans l'eau qui communiquait avec l'argent s'oxidait, tandis qu'il sortait du gaz de cette partie du fil qui plongeait dans le vase communiquant au zinc : ce résultat est semblable à celui que Nicholson et Cruiskhanks avaient découvert avant lui dans leur circuit interrompu. On voit que les principaux phénomènes de décomposition par la pile ont été observés presque simultanément par plusieurs physiciens à la fois.

Vassali-Eaudi décomposa l'acide nitrique concentré, ainsi que l'alcool. Brugnatelli publia en 1801 des observations électro-chimiques, particulièrement sur la formation d'un acide électrique au pôle positif, dont la

---

(1) Journ. de Physique, pluviose an IX, p. 101.

plupart n'ont plus aucun intérêt depuis les travaux de Davy (1).

§ V. *Théorie du contact; des diverses piles.*

Volta, qui s'était aperçu que la théorie qu'il avait donnée de la pile n'avait pas été bien comprise par tous les physiciens, vint à Paris en 1801 pour l'exposer à la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut national. Il commença, le 16 brumaire an IX, la lecture d'un Mémoire qui contenait le détail et le résultat de ses expériences sur le galvanisme, et la continua dans les deux séances suivantes. Il détermina d'abord avec exactitude les degrés de force que l'électricité recevait du contact de deux métaux différents, contact qui les rendait non-seulement conducteurs, mais excitateurs du principe électrique. Il choisit parmi les métaux les plus actifs, l'argent et le zinc, dont l'alliage avec d'autres métaux augmente leur efficacité. L'un et l'autre bien nettoyés et polis étant mis en contact par une de leurs surfaces, décomposent le fluide électrique; le fluide positif passe dans le zinc, et le fluide négatif dans le cuivre, en vertu d'une action à laquelle il donna le nom de force électromotrice. A l'aide de son électromètre condensateur, comme je l'ai déja dit, il rendit sensible chacune de ces deux électricités, en indiquant en même temps toutes les précautions à prendre pour répéter cette expérience délicate; il annonça ensuite que l'eau pure ou salée ne jouissait que d'une action électromotrice très-faible, comparée à celle des métaux, tandis que les acides concentrés, les liqueurs alcalines et les sulfures alcalins imprimaient, par leur contact avec divers métaux, une impulsion très-sensi-

(1) Annali di Chimica, t. XVIII, 136.

ble; qu'il était possible de découvrir dans chaque cas l'intensité de la force électromotrice; qu'il était parvenu à former l'échelle suivante : *argent, cuivre, fer, étain, plomb, zinc*, dans laquelle le premier métal chasse le fluide électrique dans le second, le second dans le troisième et ainsi de suite. Volta comprit même dans cette échelle d'autres métaux, des substances minérales, le charbon et d'autres corps qui semblent pousser le fluide électrique dans d'autres métaux, surtout dans le zinc, avec plus de force que l'argent, tels que la plombagine et le peroxide de manganèse. Il insista ensuite beaucoup sur la nécessité de placer entre les couples métalliques des couches humides, sans lesquelles il était impossible d'augmenter la tension de l'électricité.

La force ou l'impulsion que deux métaux donnent au fluide électrique est égale, suivant Volta, à la somme des forces de ceux qui se trouvent dans la série graduée entre ces deux métaux; ainsi, que les métaux intermédiaires entrent ou n'entrent pas dans l'appareil construit, l'effet est le même que si les deux métaux extrêmes étaient immédiatement en contact. Il témoigna le désir qu'on découvrît un électromoteur entièrement composé de substances solides, découverte qui, suivant lui, ne paraissait pas tout-à-fait impossible. Il se demanda ensuite si le rapport qui existe dans la force électromotrice des métaux et qui ne s'étend point jusqu'au passage de ceux-ci aux liquides, se présente de nouveau parmi les liquides ou conducteurs de 2e classe. Il répondit sur-le-champ que dans la supposition même de l'existence de cette action, il serait impossible de former un appareil assez actif pour produire des commotions et des étincelles; mais que la nature avait réuni ce précieux avantage dans les organes électriques de la torpille et du gymnote. Il sentit alors la nécessité d'admettre, pour les liquides, ou un rapport différent dans leurs actions électriques, ou bien une 3e classe de conducteurs pris dans la 2e, qui s'accordassent entre eux dans l'exercice de la puissance électromotrice. Suivant Volta, cette 3e classe

de corps, à la fois conducteurs et moteurs, peut être formée de substances imbibées d'une humeur qui, se coagulant et se fixant à un degré imperceptible à nos sens, mérite improprement le nom de substance humide. Il avança que, dans les organes électriques de la torpille, les petites couches ou pellicules, placées les unes sur les autres dans chaque colonne, étaient alternativement formées de conducteurs appartenant moitié à la 2e classe, moitié à la 3e, avec un arrangement tel que chaque couple hétérogène de la 3e classe se trouvait séparé par un conducteur de la 2e. L'homme de génie qui a présidé à nos destinées pendant quinze ans, et dont la gloire se reflètera long-temps sur notre patrie, se trouvait à la séance de l'Institut où Volta lut la seconde partie de son Mémoire sur la théorie de la pile. Il admira surtout la décomposition de l'eau, et proposa à ce sujet plusieurs expériences. Il aurait voulu, par exemple, qu'à des températures très-opposées on fît, sur l'action de la pile, des expériences comparatives pour s'assurer si le calorique avait quelque influence sur le passage du fluide électrique à travers les métaux et les conducteurs humides, si les métaux, selon leurs divers états, offraient des variétés remarquables dans leur faculté conductrice et motrice de ce fluide. Il aurait désiré qu'on portât une attention particulière sur le fer, métal qui se présente dans des états si variés. Les mêmes expériences, faites sur le fer cru, sur le fer malléable, sur l'acier, etc., pourraient, par leurs résultats, fournir de nouvelles lumières propres à perfectionner la théorie électrique. Enfin (1), Napoléon témoigna le désir qu'on fît des expériences plus en grand, pour mieux étudier les résultats, et il proposa de décerner une médaille d'or à Volta pour ses belles découvertes. Une commission nombreuse fut aussitôt nommée par la classe, pour lui rendre un compte détaillé de l'importante communi-

---

(1) Hist. de l'électricité, par Sue, t. IV, p. 36.

cation qu'elle venait de recevoir. Cette commission choisit pour son rapporteur M. Biot, qui s'acquitta de ses fonctions de la manière la plus remarquable. Je n'entrerai pas dans l'examen de ce rapport en raison de son étendue; mais je me bornerai à dire qu'il eut l'avantage de bien faire connaître la théorie de Volta, en définissant nettement ce que l'on devait entendre par force électromotrice. La commission proposa en même temps d'offrir à Volta une médaille en or, comme un témoignage de la satisfaction de la classe pour les belles découvertes dont il venait d'enrichir l'électricité.

Les phénomènes chimiques de la pile continuaient toujours à être l'objet des recherches les plus actives de la part des physiciens et des chimistes, qui regardaient cet appareil comme devant leur révéler un jour une foule de faits précieux sur la composition et la constitution des corps; aussi en varièrent-ils la forme et l'étendue, dans l'espoir d'arriver promptement à une énergie suffisante pour en augmenter l'action.

Napoléon s'était passionné pour le galvanisme, et en faisait souvent le sujet de ses conversations avec les savants dont il aimait à s'entourer. Il avait prévu, dès les premières découvertes de Volta, tout le parti que l'on pourrait en tirer pour la philosophie naturelle. Il en donna la preuve dans la lettre ci-jointe qu'il adressa au ministre de l'intérieur, laquelle fut transmise par lui à l'Institut (classe des sciences).

Paris, le 26 praial an x (1).

« J'ai l'intention de fonder un prix consistant en une « médaille de 3000 fr., pour la meilleure expérience qui « sera faite dans le cours de chaque année sur le fluide « électrique.......

« Je désire donner en encouragement une somme « de 60,000 fr. à celui qui, par ses expériences et ses « découvertes, fera faire à l'électricité et au galvanisme

(1) Mémoires de l'Institut, t. v, p. 233.

« un pas comparable à celui qu'ont fait faire à ces « sciences, Franklin et Volta, etc., et ce au jugement « de la classe.

« Les étrangers de toutes les nations seront également « admis au concours.

. . . .

« Mon but spécial étant d'encourager et de fixer l'at- « tention des physiciens sur cette partie de la physique « qui est, à mon sens, le chemin des grandes décou- « vertes. »

Cette promesse d'encouragement contribua singulièrement à provoquer les recherches auxquelles la pile donnait lieu. L'enthousiasme que Napoléon avait montré pour cet admirable instrument s'accrut encore quand on répéta devant lui les phénomènes de décomposition. Il fut frappé d'étonnement en voyant le transport des éléments des sels à leurs pôles respectifs. Après un instant de silence, se retournant du côté de Corvisart, son médecin, il lui adressa ces paroles remarquables : « Docteur, voilà l'image de la vie; la colonne vertébrale est la pile; le foie, le pôle négatif, la vessie, le pôle positif. » Je tiens ces détails de Chaptal, témoin oculaire. Quoique cette comparaison ne soit pas exacte, on ne peut s'empêcher de soupçonner que quelque effet semblable peut se produire dans la nature organique.

L'appel qui fut fait aux savants par Napoléon provoqua de toutes parts des recherches sur les applications de la pile. Une société galvanique s'organisa à Paris vers le commencement de l'an XI. Elle était composée de médecins et de physiciens, qui devaient s'occuper spécialement et exclusivement de tout ce qui avait rapport à la découverte de Galvani. Cette société s'organisa, forma des commissions, fit même des expériences; mais il n'en est résulté aucune découverte nouvelle. Il en arrive toujours ainsi dans les réunions composées d'un grand nombre de savants; on discute, puis l'on se sépare. Les découvertes sont ordinairement l'œuvre d'un seul et non de plusieurs.

MM. Thénard et Hachette, en juin 1801, enflammèrent les métaux par la pile. Un fil métallique, mis en communication avec les deux extrémités d'une pile d'une intensité convenable, fut immédiatement enflammé. Ils considérèrent dans les batteries propres à produire ce phénomène, deux effets, l'étendue des surfaces et la tension. Ils trouvèrent que la pile à grandes plaques fournit, comme une batterie électrique d'une grande étendue, une quantité considérable d'électricité qui, quoiqu'elle n'ait qu'une tension faible, suffit pour enflammer les métaux, résultat qu'on n'obtient pas avec des piles d'une dimension moindre, mais dont le nombre des couples est considérable.

Trommsdorff expérimenta avec une pile de 180 couples, avec laquelle il produisit plusieurs phénomènes de combustion (1). Il enflamma une feuille d'or mise en communication avec les extrémités de la pile, en répandant une vive lumière. Une feuille d'argent brûla avec une flamme bleue; une feuille de cuivre rouge avec une flamme bleu d'émeraude.

Van Marum, dans une lettre qu'il adressa à Volta (2), lui annonça le résultat des expériences qu'il fit en novembre 1801, conjointement avec M. Pfaff, en employant une partie de la grande batterie de Teyler, composée de 100 verres dont chacun contenait 5 pieds $\frac{1}{2}$ carrés d'une surface armée ayant à peu près une ligne d'épaisseur. Van Marum s'assura que le contact du conducteur ne donnait pas plus d'électricité à une batterie que l'action de la machine électrique de Teyler, dont le plateau avait 31 pouces de diamètre. Il fit un certain nombre d'expériences, pour comparer les commotions que donnait la décharge de la batterie, chargée à diverses tensions, par les mêmes contacts du conducteur de la machine électrique, avec celles des charges de la même tension par la colonne. Il en conclut une identité parfaite du courant de la colonne de Volta et de celui pro-

(1) Von Crell's chemische. Annalns, 1801, 4e cah., p. 337.
(2) Annales de Ch., n° 120, p. 289.

duit par une machine ordinaire. Ces deux physiciens prouvèrent en grand que le courant, produit par la colonne de Volta, avait une vitesse excessive que l'on ne pouvait mesurer, et en conclurent qu'il était naturel que l'appareil de Volta produisît des effets électro-chimiques tels qu'on ne pouvait en obtenir avec les machines électriques ordinaires. Bientôt ils construisirent une pile plus large et augmentèrent le nombre des couples jusqu'à soixante-dix, mais ils se convainquirent bientôt de l'impossibilité qu'il y avait de construire une colonne d'une hauteur considérable, avec de larges couples, qui eût un effet proportionné à leur nombre, attendu que leur poids comprimant trop les cartons de la partie inférieure de la colonne, en exprimait tout le liquide. Ils imaginèrent alors de diviser la colonne en plusieurs autres, de manière à en former une chaîne; mais cette disposition ne remédiait qu'en partie à l'inconvénient signalé. Deux colonnes qui avaient ensemble 50 couples fondaient 8 pouces d'un fil de fer; deux colonnes de 60 couples n'en rougissaient que 6; les 4 colonnes réunies, 12. La communication ayant été établie avec du mercure, ils fondirent l'extrémité d'un fil de platine d'environ $\frac{1}{173}$ de pouce de diamètre. Ils examinèrent ensuite les tensions, les commotions et les charges que cette grande colonne donnait à la batterie. En recherchant les causes qui donnaient le plus d'activité aux colonnes, ils découvrirent plusieurs faits qui venaient à l'appui de l'opinion de ceux qui pensaient que l'oxidation des métaux en augmentait les effets. M. Pfaff ne partagea pas les idées de Van Marum sur les effets de l'oxidation, et s'en tint à la théorie du contact.

Dyckhoff (1) forma une pile avec des couples de cuivre et zinc, séparés par une couche d'air. Dix couples produisirent, à l'aide du condensateur sur un électromètre, le même effet qu'une pile de 5 couples de l'appareil de Volta.

Davy en imagina une composée de charbons et de

(1) Journ. de Phys., n° 11, p. 190.

divers fluides (1). Un morceau de charbon bien calciné, en contact d'un côté avec de l'eau et de l'autre avec l'acide nitrique, forme un élément capable de produire les contractions dans la grenouille; si l'on réunit plusieurs de ces éléments, on forme une batterie voltaïque. On peut substituer l'acide sulfurique à l'acide nitrique, et une solution de sulfure de potasse à l'eau. L'intensité de l'effet est augmentée jusqu'à un certain point. Des combinaisons de ce liquide avec du charbon et de l'acide nitrique concentré paraissent plus actives que des combinaisons de cuivre avec les mêmes liquides (2).

Davy fit également plusieurs expériences avec des plaques métalliques de même nature et des liquides différents. Il trouva que plusieurs de ces combinaisons pouvaient être rendues actives, non-seulement lorsque les métaux éprouvent une oxidation, mais encore lorsqu'il se passe seulement un changement chimique dans quelques-unes de leurs parties. En conséquence, il a divisé en trois classes les diverses combinaisons formées de plaques métalliques de même espèce avec différents liquides. Il observa à cet égard que, dans les piles formées d'un seul métal alternant avec des étoffes humectées de diverses dissolutions, l'action est très-passagère, attendu, par exemple, que la réaction des acides sur les sulfures est en général terminée en peu de temps; qu'il est possible cependant de former une pile de ce genre, qui fonctionne pendant plusieurs heures, de manière à produire des commotions et à décomposer l'eau. Cette pile est formée de 50 plaques de cuivre disposées avec des solutions étendues d'acide nitreux ou de nitrate d'ammoniaque d'un côté de la plaque métallique, et de sulfure de potasse de l'autre.

Davy, en étudiant l'électricité ainsi développée au con-

---

(1) Journ. de Ch., n° 6, p. 292.
(2) Bibl. britan., n° 134, p. 237.

tact de diverses substances (1), découvrit un moyen de renverser à volonté les pôles d'une pile. Il se servit pour cela de l'appareil à couronnes de tasses. Si l'on établit l'appareil avec des plaques de cuivre et de fer, et que l'on verse dans les bocaux de l'eau pure, le fer s'électrise positivement et s'oxide; le cuivre s'électrise négativement et dégage de l'hydrogène; le contraire se produit si, au lieu d'eau pure, on met dans les bocaux une dissolution de sulfure de potasse, le fer devient négatif et dégage de l'hydrogène, tandis que le cuivre devient positif et s'oxide; et ainsi la direction du courant change avec la nature du corps humide interposé.

Davy entreprit de prouver que ces résultats ne contredisaient en rien la théorie de Volta, qui repose sur les propriétés de contact. L'eau interposée n'a sur les métaux qu'une action très-faible, et n'est là que pour empêcher que chaque élément métallique ne se touche. Mais si, au lieu d'eau, on emploie une substance qui ait plus d'action sur l'électricité d'un des métaux employés dans la pile que n'en a sur celui-ci l'autre métal, la direction du courant électrique doit changer; c'est précisément ce qui arrive dans le couple cuivre, fer, sulfure de potasse, attendu que les deux métaux ont, sur leurs électricités respectives, une action très-faible, et le sulfure de potasse, au contraire, agit d'une manière très-sensible, puisque l'on peut s'en servir pour remplacer un des éléments métalliques de la pile de Volta.

Ritter (2) trouva que le charbon bien calciné, l'oxide noir de manganèse et le carbure de fer accouplé au zinc dans la pile, produisent un effet plus fort que l'argent.

La solution de sel ammoniac, comme liquide d'imprégnation, est la plus favorable pour obtenir des étincelles; elle n'agit que pendant peu de temps, tandis

---

(1) Bullet. de la Soc. philom., floréal an x, n° 62.

(2) Journ. de Ch. de Van Mons, n° 11, p. 215.

qu'une pile montée avec des cartons imprégnés d'un mélange de solution de sel marin, de fiel et de tournesol, est encore très-active au bout de quatre jours.

Une pile montée avec une solution à moitié saturée de sel marin, et chaude, a été trouvée plus active qu'avec la même solution entièrement saturée et également chaude.

Ritter fit quelques expériences sur les phénomènes galvaniques (1), dans le but de comparer l'électricité des machines avec celle de la colonne de Volta. Il s'était imaginé que l'action du pôle positif disposait les métaux à se combiner avec l'oxigène, et celle du pôle négatif avec l'hydrogène, et que les effets de la pile sur le corps animal se réduisaient à des expansions et des contractions ; que toutes les parties du corps humain prenaient un plus grand volume par le contact du pôle positif, et se resserraient par le contact de l'autre pôle; il avança même, à ce sujet, que lorsqu'une personne touche les deux pôles avec les deux mains mouillées, son pouls s'accroît d'intensité dans la main qui est en contact avec le pôle positif et diminue de l'autre côté, quoique le nombre des battements reste toujours le même. L'extension dans les organes est suivie d'une sensation de chaleur et le resserrement d'une sensation de froid. L'œil qui communique avec le pôle positif voit les objets rouges plus grands et plus distincts, tandis que celui qui est en contact avec le pôle négatif, les voit bleus, plus petits et plus confus. La langue reçoit du côté positif la sensation acide, et du côté négatif la sensation alcaline. L'oreille en contact avec le premier entend des sons plus bas que l'autre.

On n'a pas vérifié depuis la plupart des résultats annoncés par Ritter.

La pile verticale de Volta présentait, comme je l'ai dit, de graves inconvénients lorsqu'on augmentait le

---

(1) Journ. de Phys., frimaire an XII.

nombre des couples. Van Marum, pour y remédier, avait proposé de distribuer la pile en plusieurs colonnes; mais cette méthode n'atteignit pas le but désiré, car lorsque les colonnes étaient composées d'un petit nombre d'éléments, il fallait trop les multiplier, ce qui était un autre inconvénient.

Cruikshanks proposa une pile horizontale et renferma tous les couples métalliques dans une auge en bois.

Pepys (1) construisit un appareil galvanique très-énergique, composé de 60 paires de plaques carrées de zinc et de cuivre, de 6 pouces anglais de côté, distribuées en deux auges selon le procédé de Cruikshanks, mais avec quelques additions particulières. C'est le plus fort appareil qui avait encore paru. Ces piles ayant été mises en action avec de l'eau renfermant de l'acide nitreux, il brûla des fils de fer depuis 1/200 jusqu'à 1/10 de pouce de diamètre. La lumière produite fut extrêmement vive. Du charbon fait avec du bois de buis s'allumait non-seulement à l'endroit du contact, mais demeurait rouge d'une manière permanente sur une longueur de près de deux pouces. Des fils de platine de 1/32 de pouce de diamètre furent fondus en globules.

Le 6 novembre 1801 (2), MM. Pepys, Allen, Howard et Tilloch communiquèrent à la Société askérienne le résultat de leurs expériences avec une batterie composée de deux auges, dont chacune contenait 60 couples carrés d'argent et de zinc, de deux pouces un quart de côté. L'action fut assez forte pour enflammer des feuilles d'or. La combustion avait lieu dans les points où la feuille était en communication avec les pôles.

MM. Thénard et Hachette (3) enflammèrent aussi les métaux au moyen de la pile, en prairial an IX, comme je l'ai dit précédemment.

---

(1) Bibl. Britann., nos 173 et 174, p. 297; Journ. de Ch. de Van Mons, n° 12, p. 285.

(2) Philosop. Magaz., juin 1801.

(3) Histoire du Galvanisme de Sue, t. II, p. 345.

§ VI. *Recherches relatives aux causes qui influent sur la charge de la pile.*

Volta avait admis que le contact seul des métaux et, en général, celui des substances de nature différente, suffisait pour dégager de l'électricité; mais un grand nombre d'expériences ne tardèrent pas à démontrer que cette théorie avait besoin d'être modifiée pour être en harmonie avec les faits observés. De nouvelles expériences furent faites pour déterminer jusqu'à quel point l'action chimique influait sur la charge de la pile.

Pepys (1) fit fonctionner la pile successivement dans l'air, puis dans le gaz oxigène. Sur 200 pouces cubes d'air atmosphérique, 36 heures après il trouva qu'il y en avait 40 d'absorbés; pendant toute la durée de l'absorption, il se forma un gaz dans un tube plein d'eau convenablement placé et un précipité floconneux dans le liquide. Avec l'oxigène, l'énergie de l'appareil fut considérablement augmentée. L'appareil ayant fonctionné toute la nuit, il trouva que 200 pouces de gaz oxigène avaient été absorbés. Le gaz azote arrêta tout-à-fait l'action de la pile.

MM. Biot et Frédéric Cuvier se sont occupés aussi de déterminer l'action mutuelle de la pile et de l'air environnant. Ils placèrent sous une cloche d'une capacité connue et sous une cuve pneumato-chimique une pile composée de disques de zinc et cuivre et de drap imbibé d'une forte dissolution de sulfate d'alumine. La communication entre les deux extrémités de la pile ayant été établie hors de la cuve, 48 heures après, l'eau était montée dans la cloche environ d'un cinquième, et le gaz qui restait avait tous les caractères du gaz azote. Ayant reconnu que le gaz oxigène était absorbé par la pile, ils en conclurent qu'il en augmentait les effets. Ils

(1) Philos. Magaz., juin 1801.

trouvèrent effectivement que l'oxigène, dans certaines circonstances, servait à augmenter les effets de la pile. Il restait à savoir si cet oxigène était absolument nécessaire à la pile et s'il en était un des éléments. Ils reconnurent d'après leurs expériences que la pile avait une action propre et indépendante de l'air extérieur, qui peut cependant en augmenter la force dans certaines circonstances (1).

M. Biot (2) fit d'autres recherches touchant les effets de l'oxidation sur la charge de la pile. Il s'attacha particulièrement à déterminer, au moyen de la balance de Coulomb, la charge que donnent des piles semblables, lorsque l'on fait varier la nature des conducteurs humides; il trouva qu'un simple contact d'une demi-seconde donne des quantités très-différentes d'électricité, suivant la nature des liquides interposés. Par exemple, la dissolution de carbonate de potasse en fournit d'abord deux fois moins environ que le sulfate de fer; mais bientôt l'action de ce dernier diminue, et celle de l'autre augmente. Les diverses dissolutions salines, la colle de farine, etc., présentèrent des différences dont quelques-unes furent aussi marquées.

Il voulut voir ensuite si les différences observées, qui pouvaient provenir de la conductibilité différente des liquides, ne pourraient pas être attribuées, du moins en partie, à l'oxidation. Il prit, en conséquence, une pile de 20 couples métalliques séparés par des rondelles de drap imprégnées d'une disssolution de sulfate d'alumine, en appliquant le condensateur par le simple contact d'une demi-seconde, et en touchant la base de la pile, il eut une répulsion de 90°. Il établit ensuite la communication entre les deux extrémités par le moyen d'un fil métallique, le condensateur ne put alors être chargé. Or, dans ce cas, le courant électrique circulait dans l'ex-

---

(1) Bullet. de la Soc. philomat., n° 53, therm. an IX; Ann. de Ch., t. XXXIX, p. 242.

(2) Bullet. de la Soc. philom., messidor an XI, p. 120.

térieur de l'appareil et l'oxidation se faisait avec autant de force qu'à l'ordinaire. Or, dit M. Biot, si cette oxidation développe de l'électricité, on doit la retrouver dans l'appareil quand la communication est de nouveau détruite entre les deux extrémités. Pour mettre en évidence ce fait, le fil fut enlevé avec un tube de verre verni; on appliqua ensuite le condensateur comme à l'ordinaire, mais sans toucher la base de la pile. Il n'acquit pas une quantité appréciable d'électricité, quoique la répulsion fût de 90° quand on touchait un instant la base de la pile. M. Biot tira la conséquence suivante de ce fait : Quoiqu'à la rigueur l'oxidation doive développer de l'électricité dans la colonne de Volta, les résultats de cette cause sont tout-à-fait incomparables avec ce que donne le contact des métaux sans cesse alimenté par leur communication avec le sol.

Fabroni et Crève avaient essayé d'établir, par des expériences intéressantes, que les effets électriques, produits dans le contact de deux métaux, devaient être attribués à l'action chimique. Wollaston (1) s'appliqua à démontrer qu'il en était encore de même dans la pile, et posa en principe, comme l'avaient fait les deux physiciens dont je viens de parler, que l'oxidation du métal était la cause principale des phénomènes électriques. Il commença par démontrer que l'action chimique de l'électricité ordinaire de nos machines était évidemment la même que celle qu'on fait naître par des procédés chimiques; qu'il suffisait pour cela de réduire considérablement la surface du métal qui plongeait dans l'eau ou la dissolution, de manière à concentrer toute l'action en un seul point. Il obtint ainsi la décomposition de l'eau et celle des sels métalliques avec des machines d'une petite dimension, et en conclut de nouveau l'identité entre l'électricité excitée par les appareils ordinaires et celle qu'on obtient avec la pile de Volta. Il alla même jusqu'à

(1) Bibl. Britan., n° 158, p. 127.

avancer que les effets électriques de frottement dépendaient aussi de l'oxidation, et fit à ce sujet diverses expériences pour démontrer que les machines électriques ordinaires ne fonctionnaient pas dans le gaz hydrogène bien sec ou d'autres gaz, là où il ne s'opérait pas des réactions chimiques. Nous verrons plus loin que si l'action chimique est une des causes déterminantes du dégagement de l'électricité, elle n'est pas cependant la seule, comme Wollaston l'a avancé.

Gautherot (1) s'attacha aussi à démontrer que la charge de la pile provenait de l'action chimique. Il communiqua le résultat de ses recherches à cet égard, à la Société philotechnique, le 12 brumaire an IX, et commença d'abord par réclamer la priorité sur Wollaston qui avait considéré aussi l'oxidation des métaux comme la cause principale des phénomènes électriques. Il exposa ainsi sa doctrine :

« L'état actuel de nos connaissances dans cette partie « ne nous permet pas encore de distinguer le phéno- « mène principal, qui explique et subordonne les autres, « de ceux de l'électricité qui ne paraissent ici que comme « secondaires : l'électricité y est excitée et mise en jeu; « mais elle y est subordonnée. L'oxidation des métaux se « présente au contraire comme un phénomène en pre- « mier ordre; leur attouchement semble augmenter leur « affinité pour l'oxigène, et la présence de l'eau, qui est « indispensable dans ce cas pour rendre sensibles les « phénomènes du galvanisme, semble prouver, par sa « prompte décomposition, cette affinité plus grande de « l'oxigène pour les substances métalliques que pour « l'hydrogène, dans la décomposition de l'eau. »

Il ajouta ensuite que l'expérience de Wollaston sur l'oxidation des métaux n'était qu'une variété de la sienne.

Si l'idée première de la théorie électro-chimique était

---

(1) Mém. des Soc. savantes et littéraires de la Rép. franç., t. 1, p. 471.

due à Wollaston, je conçois que Gautherot ait réclamé avec quelque apparence de justice, mais comme elle appartenait à Fabroni, qui l'avait publiée dix ans auparavant, ses prétentions ne se trouvaient nullement fondées.

Ritter, dans un ouvrage intitulé *das Electrische system der Koërper*, imprimé à Leipsick en 1805, a admis que lorsque les électromoteurs s'attaquent chimiquement l'un l'autre, il survient de nouvelles tensions électriques qui sont inverses des premières. Il en a conclu qu'il y a dans chaque corps une double disposition à être changé, par le contact de l'autre, sous le rapport des effets électriques.

Il a cru s'apercevoir qu'une aiguille composée de deux petites lames, l'une de zinc, l'autre d'argent, et librement suspendue, se plaçait dans le méridien magnétique, le zinc vers le nord et l'argent vers le sud, et que ses extrémités étaient faiblement attirées et repoussées par les deux pôles d'un aimant. Il ajoute, à la vérité, que cette expérience n'a pas toujours réussi; nous verrons plus loin la cause qui a pu faire réagir sur cette aiguille le magnétisme terrestre. On lui doit quelques expériences intéressantes sur les décompositions chimiques produites par un seul couple voltaïque, dont je rendrai compte également.

Il tira la conséquence de ces expériences que l'action chimique de la chaîne galvanique n'a lieu qu'autant qu'il y a réaction chimique, et qu'elle est d'autant plus forte que celle-ci est plus énergique. On lui doit l'observation suivante, qui doit être prise en considération dans les théories électro-chimiques, savoir, que lorsqu'un atome d'eau et un atome d'acide muriatique sont en contact et touchent à un métal, il y a réaction chimique, puis action électrique qui détermine la combinaison.

Il a fait remarquer que l'action d'une chaîne composée de deux conducteurs métalliques et d'un conducteur liquide n'est pas proportionnelle aux tensions électriques des deux premiers, quand même l'un des deux métaux est attaqué par le corps humide. Cette conséquence, suivant lui, résulterait de ce que les amalgames d'étain, de plomb ou de zinc, produisent, avec de

l'or ou du platine avec lesquels on les combine dans l'acide muriatique, une action de chaîne plus faible que le zinc avec les mêmes métaux et le même acide.

Il rapporte une expérience qu'on a regardée comme nouvelle dans ces derniers temps, et qui est néanmoins décrite par lui avec soin. Soient deux morceaux de zinc égaux; si l'on isole l'un de ces morceaux et qu'on le frappe une ou plusieurs fois sur un morceau d'argent également isolé, ou qu'on le laisse en contact pendant quelque temps avec l'argent et que l'on compose ensuite une chaîne galvanique avec ce morceau, l'autre et un conducteur humide quelconque, le premier joue le rôle d'un métal moins oxidable. De même l'argent qui a été en contact avec le zinc joue celui d'un métal plus oxidable. Lorsqu'au contraire, ajoute-t-il, un morceau d'étain a été exposé pendant quelque temps à l'action d'un acide étendu d'un peu d'eau et qu'on le combine, dans le même acide, avec un autre morceau d'étain sur lequel l'acide n'a pas encore agi, il en résulte une chaîne galvanique, dans laquelle le premier morceau joue le rôle d'un métal plus oxidable. Quand l'acide est trop concentré pour pouvoir attaquer le métal, le contraire a lieu. Ces expériences sont, sans contredit, intéressantes; mais nous ne voyons pas que Ritter ait tenu compte de la présence, dans la première expérience, des particules d'argent que le frottement ou le contact aurait pu laisser sur le métal, et dans la seconde, de l'acide qui n'aurait pas été enlevé par le lavage.

Appliquant ce mode d'expérimentation à différents métaux, il a observé que les acides ainsi que les alcalis donnent aux métaux des tensions électriques opposées, suivant que ces liquides sont très-concentrés ou étendus d'eau.

Ritter (1) avança le principe que toute oxidation qui se fait par la voie humide, ayant en elle-même toutes les conditions de la chaîne galvanique, est un procédé gal-

(1) Journ. de Ch. et de Phys. de Gehlen, 2e vol.

vanique. *Ce sont alors les inégalités inévitables de la surface du corps ou les différentes dispositions des diverses parties relativement à l'oxidation, qui suppléent à l'hétérogénéité des deux corps différents, pour former, avec un corps humide, les trois parties essentielles à chaque chaîne galvanique. Les inégalités de la surface reçoivent des pôles électriques opposés; les convexités forment le pôle négatif et les concavités le pôle positif.* Ce principe est d'une grande justesse, si toutefois les convexités sont formées par des corps étrangers.

§ VII. *Des piles secondaires et des propriétés électriques qu'acquièrent les fils métalliques qui ont servi à opérer des décompositions chimiques.*

Erman de Berlin avait annoncé, et même Volta avant lui, que, dans une pile isolée, si l'on fait communiquer ses deux pôles avec une bande de papier mouillée, chaque moitié prend l'électricité du pôle avec lequel elle communique. Si on enlève ce conducteur imparfait avec un tube de verre, l'équilibre ne se rétablit pas instantanément; l'une reste positive et l'autre négative. Ritter partit de ce principe pour former une pile d'un ordre particulier, à laquelle il donna le nom de pile secondaire.

Cet appareil est formé de disques d'un même métal et de cartons humides; elle est inactive par elle-même, mais elle donne des effets comme la pile ordinaire, quand on met en communication ses extrémités avec les deux pôles de celle-ci; son action est d'autant plus forte que la pile est plus énergique. Cette proportion ne se continue pas à l'infini, car Ritter a trouvé qu'une masse de conducteurs liquides entremêlés de conducteurs solides a d'autant moins de faculté conductrice que les alternatives y sont plus nombreuses; il a remarqué aussi que la capacité de ces piles secondaires augmente considérablement par la largeur des plaques, par l'épais-

seur des cartons mouillés, ainsi que par le pouvoir conducteur du liquide dont ils sont imprégnés; que la nature du conducteur solide exerce aussi une influence; enfin que les substances les moins oxidables, telles que le carbure de fer, l'oxide de manganèse, sont les plus propres à la construction de la pile secondaire, qui produit, comme la pile ordinaire, des décompositions chimiques et des effets physiologiques.

Ritter, qui s'est fait illusion quelquefois sur les phénomènes galvaniques, a avancé que la pile recevait, par la seule position perpendiculaire, une charge qui se renforçait quand on donnait à l'appareil une inclinaison de 60 à 70° vers le nord; que lorsqu'elle était dans une position horizontale, elle prenait la plus forte charge, en la tournant vers le nord, nord-ouest, et sud sud-est; qu'elle ne recevait aucune charge quand elle coupait cette ligne perpendiculairement.

A la même époque, il annonça de nouveau qu'en suspendant à un fil simple de soie un fil d'or qui avait servi à la décomposition de l'eau, il se tournait vers les pôles magnétiques de la terre.

Volta ayant examiné les piles secondaires de Ritter, déclara que la pile ordinaire ne leur transmettait aucune charge, mais qu'en vertu de l'action chimique ordinaire, le courant électrique continuait, changeait la seule couche humide interposée entre les deux pièces d'or en deux substances diverses, l'une acide et l'autre alcaline, ce qui formait une pile de la seconde espèce (1).

Les propriétés galvaniques dont jouissent les fils de métal qui ont servi à la décomposition de l'eau, n'avaient pas échappé à la sagacité des physiciens qui étudièrent les effets chimiques de la pile; car on trouve dans l'histoire du galvanisme de Sue le passage suivant, à l'occasion d'un appareil de Ritter:

(1) Journ. de Ch., n° 16, p. 132.

« On sait qu'un fil de substance conductrice solide, « mis en contact, par ses deux bouts, avec des conduc- « teurs humides qui communiquent avec les deux pôles « de la pile, excite un double dégagement de gaz, sa- « voir, de gaz oxigène d'un côté, et de gaz hydrogène « de l'autre côté. En interrompant la communication « avec la pile, le dégagement du gaz continue pendant « quelque temps, mais avec un résultat inverse; car le « bout de fil qui faisait dégager du gaz oxigène, fait « dégager du gaz hydrogène. Ainsi ce fil qui, pendant « la communication avec la pile, avait une polarité, ne « la perd pas en sortant de là; mais il l'échange, et la « partie qui, pendant la communication, était posi- « tive, devient, en la quittant, négative, *et vice versâ;* « il en est de même pour tous les autres phénomènes. « Ces expériences sont parfaitement d'accord avec la « découverte antérieure du même auteur, que tous les « corps organisés qui, pendant qu'ils font partie du cer- « cle galvanique, ont présenté certains phénomènes, « présentent des phénomènes opposés, lorsqu'ils sont « sortis de ce cercle. On peut donc établir comme loi « constante *que tous les corps organisés, qui ont une* « *polarité dans le cercle galvanique, en sortent avec* « *la polarité inverse* (1). »

Œrstedt (2) observa qu'un conducteur métallique, qui est resté, pendant quelques minutes, dans la pile de Volta, acquiert la faculté d'exciter les contractions dans la grenouille, quand on le retire pour mettre ses extrémités en contact avec les muscles et les nerfs.

Van Marum conseilla à Œrsted de faire passer le courant d'une machine électrique vigoureuse par les mêmes fils, afin d'examiner si ce courant produirait le même effet qu'une pile de Volta. Il trouva que les mêmes mouvements convulsifs se reproduisaient, mais

---

(1) *Voyez* t. III, p. 341.
(2) Journ. de Ch. de Van Mons, n° 4, p. 68.

moins fortement que lorsque l'on employait le fil qui avait servi à transmettre le courant voltaïque.

§ VIII. *Suite des phénomènes de chaleur et de décomposition produits par la pile.*

Depuis la découverte de la pile, on n'avait pas cessé de s'occuper de ses effets chimiques; mais on ne les avait pas encore analysés de manière à établir leurs rapports mutuels, et l'on avait négligé surtout l'examen des phénomènes de chaleur qui sont produits dans les mêmes circonstances, à l'exception de Davy qui préludait déja aux brillantes découvertes dont il devait enrichir plus tard les sciences physiques et chimiques; mais ses travaux n'avaient pas encore acquis l'importance qu'ils eurent ensuite, comme nous allons le voir.

Il se livra, dans le laboratoire de l'Institution royale de Londres, à quelques expériences relatives à l'action de l'électricité galvanique sur la production de la chaleur et aux changements qu'elle occasionne dans différents fluides (1). Il examina en même temps l'influence des piles à larges plaques sur l'action chimique.

Fourcroy, Vauquelin et Thénard avaient prouvé qu'il valait mieux employer, pour les phénomènes de combustion, les batteries à larges plaques que celles qui avaient de petites dimensions; en conséquence, Davy opéra avec un appareil galvanique composé de 20 couples carrés de pièces de cuivre et zinc de 13 pouces de côté. En la chargeant avec de l'eau pure, il obtenait des effets très faibles; avec une dissolution de sel marin, l'action fut augmentée; avec l'acide nitrique elle le fut encore davantage, puisqu'il put rougir à blanc trois pouces d'un fil de fer de $\frac{1}{270}$ de pouce de diamètre. Ayant comparé les effets produits au moyen de l'acide nitrique avec ceux que donnait une solution concentrée de carbonate de potasse, il observa que les premiers étaient plus forts que

(1) Annal. de Ch., t. XLIV, p. 206.

les seconds, ce qu'il attribua à l'action chimique. Il en conclut qu'il était probable qu'avec de l'eau pure privée d'air et de tout sel, on n'obtiendrait aucun résultat. Lorsque la batterie galvanique était en pleine action, un fil de fer de 2 pieds de long et $\frac{1}{80}$ de pouce de diamètre, placé dans le cercle galvanique, acquérait assez de chaleur pour faire bouillir promptement l'eau. Il en fut de même quand le fil plongeait dans l'éther, l'alcool, les huiles, etc.

En terminant les deux conducteurs par deux petits morceaux de charbon bien calciné ou un morceau de charbon et un fil métallique, on vit une abondante production de gaz, et les extrémités du charbon parurent d'un rouge blanc quelque temps après le contact. Il obtint également des étincelles dans les acides nitrique et sulfurique. Ayant soumis l'eau à l'action des étincelles qui jaillissaient de deux morceaux de charbon, il obtint un gaz composé de $\frac{1}{8}$ d'oxide de carbone, de $\frac{1}{8}$ d'oxigène et de $\frac{6}{8}$ d'un gaz inflammable. Avec l'or et le charbon, le premier étant positif, les gaz produits parurent être un mélange d'oxigène et d'hydrogène. Il examina aussi l'action des étincelles sur l'alcool, l'éther, etc., et trouva que les gaz produits étaient des mélanges d'oxigène et de gaz inflammables.

Ces produits devaient leur origine, suivant toute apparence, à la décomposition de l'eau que renfermaient ces liquides. Il attribua l'ignition apparente du charbon, dans différents fluides, à ce qu'au moment du contact il se trouvait entouré de globules de gaz qui empêchaient la chaleur dégagée de se communiquer immédiatement au liquide.

En employant des fils d'or attachés aux extrémités de la batterie, il remarqua, dans ce cas, que le pouvoir conducteur des fluides agissait plus puissamment sur le dégagement des gaz que lorsqu'il employait des piles à petites plaques. En étudiant l'action d'une grande batterie composée de 20 plaques qui avaient chacune 5 pouces de large, il observa, à plusieurs reprises, que

les gaz se dégageaient plus rapidement et en plus grande quantité des fils métalliques correspondant à de larges plaques, que des autres, tandis que les deux batteries exerçaient à peu près la même action sur l'eau; ce qui semblait prouver que l'électricité produite dans les piles composées de larges plaques peut passer plus facilement à travers les meilleurs conducteurs que celles des piles à petites plaques.

Davy examina ensuite les effets de l'ignition du charbon dans le chlore; le charbon fut maintenu rouge blanc pendant près de deux heures; le volume du chlore diminua très-peu, et il se forma une grande quantité de matière blanche sur le charbon qui n'avait pas été sensiblement consumé. L'eau absorba les trois quarts du gaz; le résidu était inflammable. Quand l'étincelle était vive, on remarqua constamment un nuage blanc qu'il fallait attribuer, suivant Davy, à la décomposition de l'eau dissoute dans le gaz par le charbon et le mercure qui y adhéraient. La matière blanche était probablement du chlorure de mercure.

Brugnatelli (1) a fait aussi plusieurs expériences du même genre, en fixant au bout des conducteurs métalliques des morceaux de charbon de bois bien tendre; les étincelles furent plus belles et plus suivies; il observa, comme Davy, que la propriété dont jouit le charbon de provoquer des étincelles n'est nullement diminuée quand il est plongé préalablement dans les acides nitrique, sulfurique, l'éther, etc.; que tous les charbons ne sont pas également propres à produire cet effet; que les amalgames, et particulièrement celui d'argent, surpassent le meilleur charbon pour transmettre des étincelles, et que le phosphore se comporte comme le zinc dans la galvanisation des animaux nouvellement morts.

Les premiers effets de la pile ont été observés par Nicholson, Carlisle et Cruikshanks; ils établirent bien que l'hydrogène et les bases étaient transportés au pôle

---

(1) Journ. de Ch., n° 12, p. 76.

négatif, l'oxigène et les acides au pôle positif; mais il restait à analyser des phénomènes qui se rattachaient à ces décompositions, et surtout les réactions produites sur les fils conducteurs plongeant dans les dissolutions. MM. Berzelius et Hisinger (1) reprirent cette question; en opérant avec des fils de fer et une dissolution étendue de sel ammoniac, ils obtinrent de l'hydrogène et de l'oxide de fer : la liqueur se troubla, et il se déposa sur le verre un peu d'oxide de fer.

L'ammoniaque concentrée, traitée de la même manière, donna de l'hydrogène au pôle négatif, et de l'azote au pôle positif. Un peu d'oxide de fer fut dissous.

Avec l'ammoniaque étendue d'eau, l'eau seule fut décomposée. Le sulfate d'ammoniaque avec excès d'acide donna de l'hydrogène du côté négatif, et de l'oxigène du côté positif.

Plusieurs sels neutres alcalins et métalliques furent successivement décomposés par le même procédé, sans présenter des faits nouveaux.

Le prussiate d'ammoniaque donna du côté positif du prussiate de fer avec excès d'oxide.

Le muriate de soude, décomposé par des fils d'argent, fournit du côté positif du chlore et du chlorure d'argent, le côté négatif était alcalin ; au bout de trente-six heures, tout le chlorure fut dissous. Le sulfate de potasse, décomposé par des fils de plomb, donna de l'oxide puce de plomb et de l'oxigène au pôle positif, et de l'hydrogène au pôle négatif.

MM. Berzelius et Hisinger remarquèrent que le dégagement de gaz continuait encore long-temps après même qu'on avait séparé les tubes de la chaîne; c'est surtout dans cette expérience que le fil négatif présentait ce phénomène d'une manière frappante; et même lorsqu'on le retirait, quoiqu'on l'essuyât bien et qu'on le replongeât dans la liqueur électrisée, le dégagement

(1) Journ. de Ch. de Van Mons, 2e cahier.

de gaz recommençait. Si, après avoir bien essuyé le fil de fer, on le portait sur la langue, et qu'on le mît en contact avec les lèvres ou avec les dents, on sentait une saveur acide très-sensible. Ces phénomènes étaient une confirmation de ceux qui avaient été observés par Ritter et autres. Avec le sulfate de potasse et des fils d'argent ils obtinrent, du côté négatif, de la potasse, et du côté positif, du sulfate d'argent.

Le même sel, décomposé par des fils d'or, donnait, du côté négatif, de l'alcali, et du côté positif, de l'acide; mais lorsqu'on agitait les deux liqueurs ensemble, il se formait du sulfate neutre, sans qu'il se précipitât aucune trace d'oxide noir. L'eau de chaux électrisée avec des fils de fer ne fut pas altérée.

Un siphon dont la courbure était trouée afin de laisser passer les gaz, et à travers les extrémités duquel on avait fait passer des fils de fer, fut rempli aux deux tiers, d'un côté avec du muriate d'ammoniaque, de l'autre avec du sulfate de potasse; les liqueurs furent mises en contact avec de l'eau distillée, qui remplissait aussi le siphon; vingt-huit heures après, la liqueur négative qui contenait du sulfate de potasse était devenue alcaline, par suite de l'ammoniaque rendue libre; la liqueur positive contenait de l'acide sulfurique, de l'ammoniaque, de l'acide muriatique et de l'oxide de fer; le sel du côté négatif avait donc cédé une portion de son acide au sel du pôle positif, et celui-ci avait cédé une portion de son alcali à l'autre. De toutes ces expériences, MM. Berzelius et Hisinger tirèrent les conséquences suivantes : 1° Lorsque l'électricité traverse une liqueur, les principes qu'elle renferme sont séparés, l'oxigène et les acides sont transportés au pôle positif, l'hydrogène, les alcalis et les terres, et en général les bases, sont transportés au pôle négatif. 2° La quantité relative de la décomposition dans les liqueurs composées est en proportion de leur efficacité et de leur point de contact avec les conducteurs. 3° Les phénomènes de la décomposition sont déterminés par l'affinité des parties composantes pour

le conducteur, autant qu'elles peuvent entrer en combinaison avec lui; par l'affinité réciproque des corps composants, lorsqu'il y en a plusieurs à la fois. Les faits cités en premier lieu étaient déja connus, les autres leur appartiennent.

§ IX. *Action chimique de la pile sur les substances organiques.*

On ne se borna pas à étudier l'action de la pile sur les sels et les acides, plusieurs physiciens cherchèrent aussi comment elle se comportait par rapport aux subtances organiques.

Brugnatelli (1) soumit à son action diverses humeurs animales, au moyen de deux lames de platine en communication avec les deux pôles. Le sang de bœuf placé sur la lame positive se décolora et se coagula, sur le pôle négatif il prit seulement une couleur noire.

Le lait se coagula également au pôle positif, et prit une saveur acidule agréable; le pôle négatif se couvrit de sucre de lait. La salive ne donna qu'un léger caillot au pôle positif. La bile de bœuf donna au même pôle un caillot semblable à la substance que l'on obtient en traitant la bile avec un acide; ce caillot paraissait être de nature résineuse. L'urine déposa l'urée sur le pôle positif et du phosphate d'ammoniaque de l'autre côté. Le blanc d'œuf se coagula au pôle positif. Brugnatelli examina ensuite l'altération que les rondelles de drap imprégnées d'eau salée éprouvent quand la pile a fonctionné long-temps. Il trouva qu'elles se transformaient en savon de laine par suite de la combinaison de la soude avec la matière animale. Larcher Daubencourt et Zannetti (2) se sont aussi occupés de l'action de la pile sur différents liquides animaux, particulièrement sur l'urine, la bile, le lait et le sang. L'urine a donné un précipité sans

(1) Journ. de Van Mons, n° 10, p. 115.
(2) Annal. de Ch., t. 45, p. XLV.

qu'il se soit opéré de décomposition; ce précipité était composé d'une partie des substances salines contenues dans l'urine; le précipité fourni par la bile provenait de la décomposition partielle de ce liquide, puisque ces observateurs paraissaient avoir isolé une petite quantité de substances alcaline et résineuse.

Benoît Mojon (1) présenta des réflexions sur la théorie des sécrétions développées au moyen de l'électricité animale. Il essaya de prouver que les différents liquides animaux sont séparés du système glandulaire au moyen d'une propriété électrique existant soit dans les glandes, soit dans le sang qui les traverse, et dans les ramifications nerveuses dont elles sont garnies. On pourrait, de la même manière que l'on obtient de la salive, ajoute Mojon, se procurer de la bile, de l'urine et d'autres fluides. Il conclut de ces diverses observations que l'électricité a une action particulière sur les fluides animaux et sur le système glanduleux. Il crut, comme Galvani, qu'il existe une électricité animale qui se transmet principalement des nerfs aux muscles, laquelle permet de considérer tous les êtres vivants comme autant de piles animales.

Aldini fit voir que la pile de Volta a la propriété de faire précipiter de l'urine différents sels qui y sont contenus; il annonça en même temps que ce phénomène avait lieu en partie sur la bile; que le sang et le lait se coagulaient promptement lorsqu'ils étaient soumis à son action; que, si l'on fait passer le courant à travers les glandes parotides, il en résulte une sécrétion salivaire. Aldini avait aussi fait cette remarque dans ses expériences sur les décapités.

§ X. *Phénomènes physiologiques de la pile et faits qui en dépendent.*

Nous avons déja vu combien la découverte de la pile avait excité l'émulation des physiologistes. Cette ému-

(1) Journ. du Galvanis., 11e cahier, p. 168.

lation continua encore pendant quelques années, jusqu'à ce que les observateurs fussent bien convaincus que l'appareil dû au génie de Volta ne leur dévoilerait probablement pas les mystères de la vie.

Galvani, dans son premier Mémoire, *de Viribus electricitatis in motu musculari Commentarius*, avait déja indiqué des observations intéressantes sur l'électricité de la torpille; il revint plus tard sur cette question, dans un voyage qu'il fit sur les bords de la mer Adriatique, et dont je rendrai compte plus loin.

Fourcroy s'est occupé des phénomènes chimiques qui ont lieu dans l'irritabilité, afin d'établir quelques rapports entre la force irritable et les forces chimiques (1).

Les physiologistes, depuis Haller, avaient observé que les acides, les alcalis et les sels métalliques jouissaient de la propriété de faire naître, par le plus léger contact, la contraction des fibres. Ils en conclurent que la propriété contractile provenait de ce que la volonté et la puissance vitale portaient dans les muscles, pour les faire mouvoir, un stimulus capable d'y exciter la contraction, comme le faisait le corps âcre avec lequel on les touchait. M. de Humboldt reprit cette question ainsi que d'autres physiciens, et fit voir que les propriétés chimiques entraient pour beaucoup dans la puissance irritable des muscles.

Fourcroy donna une théorie des rapports qui existent entre ces propriétés chimiques et le pouvoir de l'irritabilité.

Tous les physiologistes, à l'envi les uns des autres, recherchaient la cause de la vie dans les phénomènes galvaniques. Bichat, qui, à son début, s'était acquis une brillante réputation, publia, dans ses Recherches physiologiques sur la vie et la mort, le résultat de ses observations sur le galvanisme.

Bien que ses expériences se rapportent à de hautes questions de physiologie et de pathologie qui ne peu-

(1) Système des connais. chim., in-8°, t. VI, p. 394.

vent trouver place dans l'ouvrage que je publie, je crois devoir rapporter quelques-uns de ses résultats, en raison des phénomènes galvaniques sur lesquels il s'appuie. Dans le chapitre où il traite de l'influence que la mort du cerveau exerce sur celle du cœur, après avoir avancé que ce n'est point immédiatement par l'interruption de l'action cérébrale que le cœur cesse d'agir, il chercha à confirmer ce fait en s'appuyant sur le galvanisme, afin d'établir par tous les moyens possibles que le cœur était toujours indépendant du cerveau. Voici plusieurs des expériences qu'il fit à ce sujet : « 1° J'ai « armé, dit-il, dans une grenouille, d'une part, son « cerveau avec du plomb ; d'une autre part, son cœur « et les muscles des membres inférieurs avec une lon- « gue lame de zinc, qui touchait au premier par son « extrémité supérieure et au second par l'inférieure. « La communication établie avec de l'argent entre les « armatures des muscles et celles du cerveau a déter- « miné constamment des mouvements dans les membres ; « mais aucune accélération ne m'a paru sensible dans le « cœur lorsqu'il battait encore; aucun mouvement ne « s'est manifesté quand il avait cessé d'être en action. « Quel que soit le muscle volontaire que l'on arme en « même temps que le cœur, pour comparer les phéno- « mènes qu'ils éprouvent lors de la communication mé- « tallique, il y a toujours une différence tranchante.

« 2° J'ai armé, sur d'autres grenouilles, par une tige « métallique commune, d'une part, la partie cervicale « de la moelle épinière, dans la région supérieure du « cœur, afin d'être au-dessus de l'endroit d'où les nerfs, « qui vont au sympathique et de là au cœur, tirent « leur origine ; d'autre part, le cœur et un muscle vo- « lontaire quelconque. J'ai toujours observé un résultat « analogue à celui de l'expérience précédente, en éta- « blissant la communication ; toujours de violentes agi- « tations dans les muscles volontaires, jointes au dé- « faut de changement manifeste dans les mouvements « du cœur, se sont fait apercevoir.

« 3° J'ai tâché de mettre à découvert les nerfs qui « vont au cœur des grenouilles; plusieurs filets grisâtres, « à peine sensibles, et dont, à la vérité, je ne puis « certifier positivement la nature, ont été armés d'un « métal, tandis que le cœur reposait sur un autre. La « communication établie par un troisième n'a déter- « miné aucun effet sensible. »

Il envisagea ces expériences comme très-propres à montrer si le cerveau influence ou non directement le cœur, sur les animaux à sang chaud et froid.

Il fit divers essais sur des cadavres de guillotinés, chez lesquels toute espèce de motilité était éteinte; il ranima cette propriété avec le galvanisme; mais il lui a toujours été impossible de déterminer le moindre mouvement en armant, soit la moelle épinière et le cœur, soit ce dernier organe et les nerfs qu'il reçoit des ganglions par le sympathique ou du cerveau par la paire vague, quoique les excitants mécaniques, appliqués directement sur les fibres charnues, en occasionassent la contraction. Contre l'opinion de M. de Humboldt, il ne put exciter des contractions lorsque l'on détache le cœur promptement et avec le soin d'y laisser quelques-uns de ses nerfs isolés, que l'on arme d'un métal et touchant l'armature avec un autre métal. Il dit qu'il a presque toujours réussi au contraire à produire des contractions chez les animaux à sang rouge et chaud, en leur arrachant le cœur, en le mettant en contact par deux points différents avec des métaux, et en établissant la communication. Il a répété sur l'estomac, les intestins, la vessie, etc., les expériences galvaniques qu'il avait faites sur le cœur. Ayant armé de deux métaux différents le cerveau et chacun de ces viscères en particulier, il n'eut aucune contraction sensible à l'instant de la communication des deux armatures. Les autres viscères ont produit les mêmes effets. Des expériences furent tentées également sur le même sujet par Dumas, Richerand et M. Dupuytren (1).

---

(1) Princip. de Physiol., t. II, p. 312.

Mais je m'éloignerais trop du but que je me suis proposé dans cette notice, si j'exposais ici tous leurs travaux.

Le 21 thermidor an x, MM. Vassali-Eaudi, Giulio et Rossi présentèrent à l'Académie de Turin le résultat de plusieurs expériences galvaniques sur le cœur, sur les artères, et sur les cadavres de sujets décapités, pendus ou noyés.

Ils ont essayé l'influence galvanique sur le cœur de trois manières, 1° en armant la moelle épinière par le moyen d'un cylindre de plomb enfoncé dans le canal des vertèbres cervicales d'hommes décapités et en portant ensuite une des extrémités d'un arc d'argent sur la surface du cœur et l'autre à l'armature de la moelle épinière; 2° en armant les nerfs vagues et le grand sympathique; 3° en faisant usage de la pile.

Dans le premier mode d'excitation, le cœur, doué d'une grande vitalité, s'est contracté visiblement. Ils ont remarqué que, lorsqu'ils touchaient le cœur le premier, et ensuite l'armature de la moelle épinière, les contractions du cœur étaient et plus instantanées et plus fortes que lorsqu'ils touchaient d'abord l'armature de la moelle épinière et ensuite le cœur. La grenouille a présenté le même phénomène. En employant la pile, ils ont trouvé que, lorsque le côté négatif communiquait avec la moelle de l'épine ou simplement avec les muscles du dos et de la poitrine mis à nu, et l'extrémité positive avec le cœur, on obtenait des contractions instantanées et violentes qui avaient également lieu lorsqu'on renversait le mode de communication. Ils ont reconnu que le cœur était un des premiers à perdre son influence galvanique. Ils expliquent par-là pourquoi Aldini et Bichat n'ont pas obtenu les contractions du cœur, car il perd ordinairement son excitabilité 40 minutes après la mort (1). Beaucoup d'expériences ont été faites sur les suppliciés et sur les grands animaux; mais le nombre en est si grand, qu'il est impossible

(1) Journ. de Phys., floréal an XI, p. 378.

d'en donner ici le détail. Je dirai seulement qu'Aldini conclut, d'expériences galvaniques faites à Londres sur un pendu le 3 janvier 1803, que le galvanisme exerce une action puissante sur les systèmes musculaire et nerveux; que cette action, comme stimulant, est plus énergique que ne l'est celle d'aucun agent mécanique quelconque; que l'action du galvanisme sur le cœur diffère de celle sur les autres muscles, attendu que lorsque le premier ne se contracte plus, les autres muscles demeurent encore excitables pendant un certain temps; que le galvanisme offre un moyen puissant de rappeler à la vie les asphyxiés dans plusieurs circonstances, quand on combine les remèdes employés ordinairement avec le galvanisme.

Aldini présenta à l'Institut (1) une suite d'expériences tendantes à prouver, comme Galvani l'avait annoncé, qu'il s'exerçait au contact des nerfs et des muscles une action analogue à celle qui se manifeste au contact des substances métalliques. L'expérience fondamentale appartient, comme on voit, à Galvani; mais le développement en est dû à Aldini.

On doit à Giulo (2) des recherches sur les effets du fluide galvanique appliqué à différentes plantes; il choisit pour sujet de ses observations celles qui sont douées d'une grande irritabilité dans quelques parties lorsqu'elles sont stimulées par des excitants mécaniques. Voici les résultats auxquels il parvint : il arma les branches de la mimosa sensitive en deux endroits différents, avec des feuilles d'étain et de plomb un peu épaisses; il mit une petite bande plus mince d'un de ces métaux sur les muscles qui se trouvent dans la partie inférieure des articulations des pétioles communs des feuilles, et sur ceux par l'action desquels les divisions des feuilles et les folioles se ferment; le lendemain,

(1) Bulletin des Sc. de la Soc. philom., brumaire an XI, n° 68.
(2) Journ. de Phys., frimaire an XII, p. 460.

lorsque toutes les feuilles furent épanouies, il mit en communication les armatures des métaux différents sans l'intermède de la pile, et n'observa pas la moindre contraction dans les muscles des feuilles ni dans ceux des folioles; mais lorsqu'il établit la communication avec une pile de 50 couples de disques zinc et argent, les feuilles latérales sur les muscles desquelles passait la petite bande de l'armature, se fermèrent aussitôt. Les deux folioles de cette plante armée se fermèrent assez fortement deux minutes après. Celles des feuilles latérales, qui n'avaient point été armées par la petite bande de feuille de métal qui passait contre les muscles des autres, restèrent immobiles.

Le mimosa pudica ayant été armé de la même manière, une minute après que la communication fut établie, les feuilles qui étaient armées se plièrent sur leurs branches; ensuite à différents intervalles, d'autres feuilles çà et là dans différents endroits de la plante : les muscles qui se trouvaient dans l'articulation de la feuille totale avec la branche, furent en général les premiers à être contractés; les contractions des muscles de l'articulation de chaque division, ou pinnule de la feuille, vinrent ensuite; enfin eurent lieu les contractions de chaque foliole.

Giulio tira la conséquence de ses expériences que, puisque la communication des armatures sans l'intermède de la pile est insuffisante pour produire les contractions, l'excitabilité de leurs muscles est beaucoup moindre que dans les muscles des animaux; qu'en employant la pile, les contractions sont lentes, successives et séparées par des intervalles considérables, tandis que, lorsqu'on en agit de la même manière avec les animaux, elles sont instantanées et violentes. Ces différences prouvent donc que les muscles et les nerfs dans les animaux sont des conducteurs du fluide électrique infiniment meilleurs que le tissu des plantes.

Il expérimenta sur d'autres mimosas, et reconnut également qu'un plus long intervalle est nécessaire au fluide

galvanique pour y développer une action irritante et y produire des contractions visibles. Il essaya ensuite l'action galvanique sur l'*hedysarum girans*, dont les folioles sont douées de mouvements étonnants; mais la pile ne put jamais produire le moindre changement ni la moindre altération dans les mouvements des folioles. Parmi les personnes qui ont travaillé sur le galvanisme, je dois citer Berlinghieri, qui a fait des expériences sur les nerfs, Fontana, Gaillard, M. le Hot, etc., etc.

§ XI. *Application du galvanisme à la médecine.*

En même temps que l'on s'occupait de recherches physiologiques, on tentait d'appliquer le galvanisme à la médecine.

Galvani fut un des plus ardents à parcourir cette carrière. Il indiqua d'abord la manière d'administrer l'électricité. Suivant lui, pour concevoir les différentes manières d'agir de l'électricité sur le corps humain, il faut avoir égard à trois circonstances principales : 1° à celle où l'électricité artificielle agit violemment sur l'économie animale, comme dans l'expérience de la bouteille de Leyde; 2° à celle où cette même électricité agit d'une manière lente et successive, et semble se combiner avec les fluides du corps humain : c'est la méthode du bain électrique; 3° enfin à celle où l'on retire de l'animal une quantité donnée d'électricité, comme lorsqu'on emploie l'électricité négative.

Il s'attacha ensuite à démontrer que, dans les maladies convulsives, rien n'est plus important que de déterminer laquelle des deux électricités doit être employée, et fit plusieurs expériences pour prouver que l'état électrique de l'atmosphère peut influer sur l'électricité animale; aussi recommande-t-il, avant d'entreprendre le traitement, d'éprouver l'état électrique des nuages avec des électromètres. Suivant lui, le moyen préférable à tous les autres, dans l'application de l'électricité négative, est de faire communiquer celle qui réside dans les

muscles avec les nerfs de la partie malade. Il indique ensuite les avantages que l'on peut retirer de l'application de l'électricité atmosphérique. Il se trouve d'accord en cela avec Mauduit, qui avait annoncé que l'influence de l'électricité artificielle et atmosphérique est plus grande sur l'économie animale qu'on ne l'avait pensé (1).

Crève s'est servi du galvanisme pour distinguer la mort vraie de la mort apparente ou l'asphyxie. Quand les fibres se contractent, c'est une preuve que l'irritabilité n'est pas entièrement détruite, et qu'on ne peut encore décider que l'homme soit véritablement mort.

M. Pfaff proposa le galvanisme dans la paralysie du nerf optique.

Des expériences furent faites à l'École de médecine sur le traitement des maladies par le galvanisme; la commission qui en a rendu compte a cru pouvoir conclure des observations dont elle fut témoin que les effets de l'appareil voltaïque pénètrent et affectent l'organe nerveux et les organes musculaires plus profondément que les machines électriques ordinaires; qu'ils provoquent de vives contractions, des sensations fortes de picotements et de brûlures dans les parties que leur état maladif rend insensibles aux étincelles et aux commotions; que la durée de cette action est telle qu'elle semble autoriser l'espoir de trouver dans ce moyen un excitant efficace et capable de concourir avec succès au traitement des maladies. Ces conclusions, comme on voit, ne donnent rien de positif sur l'application de l'électricité à la médecine.

M. de Humboldt (2), dans une lettre à M. Loder, a traité aussi la question de l'application du galvanisme à la médecine; il y convient d'abord que le principal avantage des découvertes galvaniques consiste moins dans

---

(1) Mém. de l'anc. École de méd., t. II, III, IV et V.
(2) Bibl. german., t. IV, messidor an VIII, p. 301.

l'application directe qu'on peut en faire au dérangement de l'économie animale que dans les lumières qu'elles peuvent fournir sur la nature des nerfs et sur la force dont ils sont doués. Ce savant célèbre s'exprime avec la plus grande réserve sur les applications du galvanisme; quant à l'emploi qu'on en peut faire pour distinguer la mort qui n'est qu'apparente de celle qui est véritable, ses expériences à cet égard tendent à prouver que le galvanisme peut induire en erreur, en annonçant la mort là où il n'y a qu'un défaut d'irritabilité plus ou moins passager. Il a fait ses expériences non-seulement sur les animaux à sang froid, mais aussi sur ses propres nerfs. Néanmoins, quoiqu'il ne regarde pas le galvanisme comme un moyen infaillible de distinguer la véritable mort de celle qui n'est qu'apparente, il ne rejette pas entièrement l'opinion de Crève et le moyen qu'il propose. Il pense que le stimulant métallique peut être utile chez les asphyxiés; et que, s'il en est ainsi, quand tout le système, tant nerveux que musculaire, est dans un état de paralysie, il est permis d'en attendre d'aussi bons effets dans des cas de paralysie partielle.

M. de Humboldt avance encore que l'un des avantages que procure le galvanisme est de distinguer les nerfs des autres organes, et surtout des vaisseaux.

Grapen Giesser (1), collaborateur de M. de Humboldt, a publié en allemand un ouvrage sur l'emploi du galvanisme dans le traitement de quelques maladies. L'auteur assure que le galvanisme peut non-seulement servir à reconnaître les nerfs dans leur tissu, mais encore à indiquer les distributions des nerfs superficiels.

Les effets varient, suivant lui, selon la nature des pôles mis en contact avec les parties malades. Si l'on prend, par exemple, une plaque de zinc et une plaque d'argent, que chacune soit mise en contact avec une plaie de vésicatoire, la plaie correspondante au zinc ces-

(1) Grapen Giesser, der Arzneikunde und Wundarzneikunst doctor, 1801.

sera la première de fournir de la sérosité, et il se formera bientôt une escarre.

Le galvanisme peut être utile dans les paralysies des extrémités, telles que la compression du cerveau; dans la faiblesse de la vue et dans la goutte sereine, due uniquement à l'inexcitabilité du nerf optique; dans les surdités dépendantes de l'affaiblissement nerveux; dans l'enrouement et l'aphonie; dans la paralysie du sphincter de l'anus et de celui de la vessie. Il décrit ensuite les diverses manières d'appliquer ce moyen médicamenteux.

Lebouvier Desmortiers envisagea la question sous un autre point de vue: il s'attacha à signaler, dans un mémoire qu'il communiqua à la Société des observateurs de l'homme, le 28 floréal an IX, le danger du galvanisme dans le traitement des maladies. Il pose en principe qu'avant d'appliquer ce traitement aux corps vivants, il est nécessaire de reconnaître, par l'expérience, les altérations qu'il peut produire dans les différents principes de la vie; c'est une considération que les observateurs précédents avaient négligée. Il examine d'abord, comme avait fait Brugnatelli, les modifications qu'éprouvent l'urine et la bile. Il rapporte un fait remarquable qui tendrait à prouver que les effets du galvanisme ont peu de durée. Il appliqua deux fois sur les tempes les conducteurs galvaniques, et ressentit deux fortes commotions. « A la suite de ces commotions, je m'aperçus, « dit-il, que mes yeux, qui habituellement sont très- « fatigués, et dans lesquels je sens presque toujours de « la chaleur et des tiraillements, n'éprouvaient plus ces « petites incommodités. Mais cette espèce de guérison « subite ne dura guère, et fut bientôt suivie d'une sorte « d'étourdissement, d'un léger mal de tête, qui ne se dis- « sipa qu'à la fin de la journée (1). » Le même physicien est le premier qui ait soumis les calculs urinaires à

(1) Journal des Débats, du 6 thermidor an XI.

l'action du galvanisme. Un gravier rond très-dur et pesant un grain fut totalement dissous en 24 heures.

Un grand nombre de recherches furent faites sur l'application du galvanisme à l'art de guérir; mais le succès ne répondit pas toujours à l'attente des expérimentateurs; je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet.

§ XII. *Théorie des décompositions chimiques, par Grotthus.*

Les recherches électro-chimiques de Grotthus l'ont conduit à une théorie pour expliquer les phénomènes de décomposition, dont je vais essayer de donner une idée, en raison de son importance.

Après avoir étudié avec soin la précipitation des métaux à l'état métallique et l'influence de l'électricité sur ce phénomène (1), il avança que la précipitation des métaux en dissolution par d'autres métaux semble être une action galvanique. Je n'entrerai pas dans toutes les considérations qu'il présenta pour appuyer son opinion d'expériences décisives. Je me bornerai à dire que la plupart sont concluantes. Il posa d'abord en principe que, lorsqu'une couche de métal en dissolution s'est une fois déposée sur celui qui sert de précipitant, elle y reste immobile pendant tout le temps de l'expérience, et que de nouvelles molécules métalliques vont s'implanter sur celles qui existent déja, de manière que la végétation ne prend de l'accroissement que par les extrémités. Il dit ensuite que l'attraction réciproque des deux métaux, jointe à l'affinité prédominante de l'un des deux pour l'oxigène et pour l'acide de l'autre, explique bien la revification des premières molécules, mais non pas celle des molécules subséquentes.

Il passe à l'application des décompositions chimiques par la pile. Il pose d'abord en principe que l'eau, ou une dissolution quelconque, soumise à l'action de la pile,

---

(1) Annal. de Ch., t. LXIII, p. 6.

est une véritable pile secondaire. Il s'appuie, à cet égard, sur l'observation de Volta dont j'ai parlé, qu'une tranche de papier humide, dont chaque extrémité touche l'un des pôles de la pile, conserve pendant quelques minutes la charge reçue, même lorsqu'elle n'est plus en contact avec la machine, et sur cette autre observation que l'eau pure contenue dans un tube recourbé, et qui s'est trouvée dans l'arc de la pile, retient aussi pendant un court espace de temps la faculté de contracter les muscles de la grenouille. Cela posé, il donne l'explication suivante de la décomposition de l'eau : Considérons un filet d'eau composé d'une molécule d'oxigène et de deux d'hydrogène. A l'instant de l'action du courant, la polarité se manifeste entre les molécules élémentaires de l'eau. Or, puisque l'oxigène est attiré par le pôle + et l'hydrogène par le pôle —, on est porté à croire que chacun de ces deux principes, au moment de sa naissance, acquiert un état électrique contraire à celui du pôle qui l'attire; et, comme le même effet doit se produire sur toutes les particules de l'eau, il s'ensuit qu'en les prenant deux à deux, les principes homogènes se repousseront, tandis que les principes hétérogènes s'attireront alternativement. Il suit de là que dès l'instant que l'oxigène passe à l'état de fluide élastique par l'attraction du pôle positif, son hydrogène repousse, en vertu de cette électricité, l'hydrogène de la particule d'eau voisine, et se combine avec son oxigène, en même temps que la molécule hydrogène repoussée transmet son mouvement à la suivante; ainsi de suite jusqu'à la dernière, qui prend l'état gazeux quand elle touche au pôle négatif; il en est de même de l'oxigène. On explique par-là pourquoi il n'y a que les molécules d'eau situées aux extrémités des fils conducteurs qui soient seules décomposées; car les molécules intermédiaires se bornent seulement à échanger réciproquement et alternativement leurs principes constituants sans changer de nature. Il compare ingénieusement ce qui se passe dans cette circonstance à l'effet produit quand on fait tomber une bille d'ivoire, sus-

pendue par un fil, sur une série d'autres billes également suspendues, et qui se touchent entre elles; l'impulsion est communiquée à la première, et transmise successivement à toutes les billes intermédiaires jusqu'à la dernière, qui, ne pouvant la transmettre, est chassée avec une force égale à l'impulsion primitive. Cette théorie, qui est encore généralement suivie, fut discutée par lui-même avec tout le soin possible.

§ XIII. *Découvertes électro-chimiques de Davy, depuis* 1806.

Davy, avant 1806, s'était déja fait connaître dans les sciences physiques et chimiques par des travaux intéressants, mais il n'avait pas encore donné la mesure de son génie, comme il le fit dans les deux mémoires remarquables dont je vais parler. Si l'on ne trouve pas toujours dans ses expériences la rigueur mathématique que beaucoup de physiciens exigent dans les recherches expérimentales, on en est très-amplement dédommagé par les découvertes importantes dont elles ont enrichi la science, et les inductions philosophiques qu'il en tire. Chez lui, l'application suit la découverte d'un fait: en général, ses travaux renferment une grande pensée.

Les phénomènes de décomposition étaient encore enveloppés de beaucoup d'obscurité; on ne pouvait expliquer, par exemple, pourquoi, en opérant la décomposition de l'eau distillée avec la pile, dans des vases de verre, on avait de la soude au pôle négatif et du chlore au pôle positif; cette question avait donc besoin encore d'être étudiée de nouveau. Davy s'en chargea, et la traita de la manière la plus remarquable, dans un mémoire (1) dont il fit la lecture à la Société royale, le 20 novembre 1806.

Desormes avait tâché de reconnaître par l'expé-

(1) Philos. Transact., 1807, et Annal. de Ch., t. LXIII, p. 172.

rience la nature des substances qui se produisent dans l'eau distillée aux deux pôles d'une pile. Il annonça que c'était de l'acide muriatique et de l'ammoniaque (1). Brugnatelli soutint la production d'une substance nouvelle, qu'il appela acide électrique. En Italie, on crut avoir produit du muriate de soude. Dès 1800, Davy avait annoncé qu'en soumettant à l'action de la pile, par le moyen de fils d'or, de l'eau distillée contenue dans deux tubes de verre communiquant ensemble par une substance animale ou végétale humide, on avait une dissolution de chlorure d'or dans le tube positif. Mais il s'assura bientôt après que l'apparence de l'acide muriatique était due aux substances animales et végétales qui avaient été employées, puisqu'il n'obtint aucun effet en employant des filaments de coton lavés dans une faible solution d'acide nitrique.

Dans le cas où il obtenait beaucoup de soude, le verre paraissait fortement corrodé au point de son contact avec le fil métallique. Il en conclut que la production de l'alcali était due à cette cause. Il fut confirmé dans cette opinion en observant que l'on ne pouvait obtenir aucune substance saline en opérant dans des vases d'or. De semblables conclusions à l'égard de l'apparence de l'acide muriatique avaient été tirées par la Société galvanique de Paris, le docteur Wollaston et MM. Biot et Thénard (2).

Davy opéra cette fois dans des petites coupes d'agate remplies d'eau distillée, qu'il mit en communication au moyen d'amiante très-blanche, lavée dans de l'eau distillée, avec la pile, par l'intermédiaire de deux fils de platine. Les apparences acides et alcalines furent très-prononcées. C'était encore de l'ammoniaque et de l'acide hydrochlorique. Il fut étonné de ce résultat; car il croyait avoir rempli toutes les conditions nécessaires

(1) Annal. de Ch., t. XXXVII, p. 233.
(2) N° 40 du Moniteur, 1806.

pour éviter l'emploi de substances qui pouvaient renfermer du sel marin. Il répéta un grand nombre de fois cette expérience et se convainquit que le peu de matière saline qui existait dans les coupes d'agate, avait été la source de l'acide et de l'alcali qu'il avait trouvés. S'étant débarrassé de cette cause d'erreur en opérant dans des vases d'or, il obtint encore des réactions acides et alcalines. Il vit alors clairement que l'eau elle-même était capable de fournir l'alcali fixe; cependant cette eau paraissait pure en employant les réactifs ordinaires; il restait à savoir si la substance saline était transportée par la distillation ou s'il fallait attribuer l'alcali au gaz azote, dont il existe une petite quantité dans l'eau exposée à l'air. Ayant fait évaporer de l'eau très-lentement dans un alambic d'argent, il resta une substance saline à la présence de laquelle il attribua les réactions acides et alcalines qu'il avait trouvées. Il soumit ensuite à l'expérience l'eau qu'il avait distillée, et cette fois il n'obtint aucune réaction acide ou alcaline; il en tira aussitôt la conséquence que l'alcali fixe n'était pas engendré par l'action de la pile, mais provenait soit des matières solides dont on faisait usage, soit d'une matière solide qui existait dans l'eau.

Il expérimenta ensuite sur des vases composés de diverses substances, pour reconnaître jusqu'à quel point on pouvait retirer quelques-uns des éléments qui se trouvaient dans un état de combinaison le plus intime. Avec des tubes de cire, il obtint un mélange de soude et de potasse; la substance acide se trouva être un mélange des acides sulfurique, muriatique et nitrique. Un morceau de marbre de Carrare, dans lequel on avait pratiqué une cavité, donna de la soude et de la chaux. Davy attribua la présence de la soude à ce que le marbre de Carrare avait été exposé à l'action de l'eau de mer. Plusieurs autres substances minérales lui donnèrent le même résultat, et il en conclut qu'il est peu de pierres qui ne contiennent des matières salines en combinaison ou disséminées mécaniquement dans leur substance.

On conçoit effectivement la possibilité de ce mélange, quand on considère que toutes les roches ordinaires portent des marques évidentes de leur ancien séjour sous les eaux de la mer. Davy, continuant ses recherches, n'a jamais fait aucune expérience de décomposition où il n'y ait eu production d'acide nitreux, et plus longue était l'opération, plus grande était la quantité de cet acide. L'alcali volatil paraissait aussi se former en très-petite quantité au commencement dans de l'eau purifiée, contenue dans les vases d'or; il expliqua la production de cet acide et de cet alcali par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxigène, à l'état naissant, avec l'azote de l'air atmosphérique, qui est tenu en dissolution dans l'eau; car, en prenant toutes les précautions possibles pour que l'eau très-pure ne renfermât pas d'air, il ne retirait de l'eau chimiquement pure que de l'oxigène et de l'hydrogène.

Après que Davy eut bien constaté les effets de l'action électrique sur le verre, pour en tirer le sel marin qui s'y trouvait à l'état de combinaison, il voulut voir jusqu'à quel point le même mode d'action agirait sur les corps solides insolubles ou difficilement solubles dans l'eau. Il opéra la décomposition de ce liquide dans des coupes formées de sulfate de chaux cristallisée, de sulfate de baryte et de strontiane, de fluate de chaux et d'autres substances également cristallisées. Dans tous les cas, les parties constituantes des corps furent séparées et transportées à leurs pôles respectifs. Il eut la pensée que de très-petites portions d'acide et d'alcali pouvaient être dégagées, par cette action, de combinaisons solides qui consistaient principalement en terre pure; en conséquence, il soumit à l'expérience le basalte, la zéolithe compacte, la lépidolithe et d'autres corps. La première substance lui donna du chlore, de la chaux et de la soude; la seconde de la soude et de la chaux; la troisième de la potasse, etc. Ainsi ses prévisions se trouvèrent vérifiées. Il étudia ensuite les diverses circonstances qui accompagnent les décompositions des

combinaisons solubles. Les dissolutions furent mises dans des coupes en agate, réunies par des fils d'amiante, et en communication avec la pile au moyen de fils de platine. Lorsqu'il employait des mélanges de solution de sel neutre qui peuvent exister ensemble, les acides étaient transportés dans la capsule positive, et les bases dans la capsule négative. En continuant l'opération assez de temps, la séparation des parties constituantes était complète. Pour analyser les phénomènes de transport, il se servit de deux coupes remplies d'eau distillée, l'une de sulfate de chaux et l'autre d'agate, la première communiquant avec le pôle positif, et la seconde avec le pôle négatif. La chaux fut transportée dans la coupe d'agate et l'acide sulfurique resta dans celle de sulfate de chaux. D'autres substances donnèrent des résultats analogues. En mettant entre les coupes un tube d'eau distillée, les différents éléments des sels traversaient l'eau distillée pour se rendre à leurs pôles respectifs sans s'y arrêter.

Il montra ensuite que le contact de la solution avec la surface métallique n'était pas nécessaire pour que la décomposition et le transport eussent lieu. L'expérience suivante faite avec trois capsules attira particulièrement son attention. Les deux capsules extrêmes ayant été remplies d'une dissolution de muriate de soude, et le vaisseau intermédiaire d'une solution de sulfate d'argent, aussitôt que le circuit électrique fut établi, la soude commença à paraître dans le tube négatif et le chlore dans l'autre; mais le chlore en traversant la solution de sulfate d'argent, produisit un précipité pesant, et la soude un précipité léger; il tira de ce résultat important la conséquence que, lorsque les éléments des sels soumis à l'action de la pile, rencontrent, dans leur passage, des corps avec lesquels ils peuvent former des combinaisons insolubles, ces combinaisons s'effectuent aussitôt.

Il examina si les acides et les alcalis, qui étaient transportés par les courants, ne passeraient pas à travers des dissolvants chimiques qui auraient une

forte attraction pour eux. Ayant placé du sulfate d'argent du côté négatif, de l'eau du côté positif, une faible solution d'ammoniaque dans le tube intermédiaire, il trouva qu'en employant le pouvoir d'une pile composée de 150 couples, l'acide se rassemblait autour de la pointe positive après avoir traversé l'ammoniaque pour y parvenir, quoiqu'il eût une grande affinité pour cet alcali. Il varia cette expérience de beaucoup de manières, et arriva au même résultat.

Il soumit à l'expérience, avec un égal succès, les substances végétales et animales. Un pétiole frais de polianthus ayant été mis en communication avec le tube positif contenant une solution de nitrate de strontiane, tandis que le tube négatif contenait de l'eau pure, l'eau devint bientôt verte et donna la réaction alcaline. On y trouva de la potasse et de la chaux, et nulle trace de strontiane. Un morceau de chair musculaire de bœuf d'à peu près trois pouces de long ayant été soumis également à l'expérience, on obtint de la soude, de l'ammoniaque et de la chaux.

Davy (1) dans le Mémoire déja cité, qui est un des plus remarquables qui aient paru sur l'électricité voltaïque, établit les bases de la nouvelle théorie électro-chimique telle qu'il l'avait conçue. En 1801, il avait démontré qu'en employant, comme éléments d'une pile, un métal, des solutions acides et alcalines, celles-ci étaient toujours positives lorsqu'elles étaient séparées du métal et des solutions acides négatives. Il partit de là pour continuer ses recherches.

Il tâcha d'abord de déterminer, par le moyen d'instruments très-délicats, l'état électrique d'une solution acide et d'une solution alcaline simple, isolées après leur contact avec les métaux, mais les résultats ne furent pas satisfaisants. Il n'en fut pas de même quand il expérimenta avec des substances alcalines et acides, qui peuvent exister sous

---

(1) Phil. trans., vol. XCI, p. 397.

la forme sèche et solide. Les acides oxalique, succinique, benzoïque, etc., parfaitement secs, soit en poudre, soit en cristaux, dans leur contact avec le cuivre, prirent l'électricité négative, et le métal l'électricité positive. L'acide phosphorique dans l'état solide, qui avait été fortement chauffé et conservé avec soin hors du contact de l'air, rendit positif un plateau de zinc isolé.

Quand il mit des disques métalliques en contact avec la chaux sèche, la strontiane ou la magnésie, le métal devint négatif. La potasse ne donna, dans aucun cas, un résultat satisfaisant; il en attribua la cause à sa forte attraction pour l'eau. La soude se comporta, dans un seul cas seulement, comme les autres bases.

On avait déja démontré que, par le frottement du soufre et des métaux, le premier devient positif, et les métaux négatifs. Le plomb, suivant Wilke, faisait exception; mais Davy trouva qu'il se comportait comme les autres métaux. Peut-être Wilke a-t-il été induit en erreur pour avoir employé du plomb déja terni. Enfin, de ces résultats et d'autres que je ne puis rapporter ici, Davy tira la conséquence *que les corps qui jouissent d'énergies électriques opposées, relativement à un seul et même corps, possèdent aussi respectivement entre eux des énergies opposées, et que ce n'est pas une analogie trop éloignée que de considérer les substances acides et alcalines, en général l'oxigène et l'hydrogène, comme possédant des rapports électriques semblables, et que, dans les décompositions et les changements produits par l'électricité, les différents corps qui possèdent naturellement des affinités chimiques, paraissent incapables de se combiner, ou de rester en combinaison, lorsqu'ils sont mis dans un état d'électricité qui diffère de leur ordre naturel.*

Parmi les substances qui se combinent chimiquement, dit-il, *toutes celles dont l'énergie électrique est bien connue, présentent des états opposés; ainsi le cuivre et le zinc, l'or et le mercure, le soufre et les métaux, les substances acides et alcalines,*

donnent des exemples conformes à ce principe. En supposant donc une liberté parfaite dans le mouvement de leurs particules, elles doivent s'attirer l'une l'autre, en vertu de leurs pouvoirs électriques; et, si ces pouvoirs sont assez exaltés pour leur donner une force attractive supérieure au pouvoir de l'agrégation, il se formera une combinaison, qui sera plus ou moins forte, suivant que les énergies seront plus ou moins parfaitement balancées; alors il se produira de la chaleur et de la lumière par la réunion des deux électricités. Telles sont les bases de la théorie électro-chimique conçue par Davy.

Il examina ensuite le cas où plusieurs substances possèdent différents degrés de la même énergie électrique, relativement à un même corps, ainsi que celui où deux corps qui se repoussent l'un l'autre, agissent sur un même corps avec différents degrés de la même énergie électrique attractive. Il montre comment la combinaison peut alors s'effectuer. Nous ne pouvons entrer ici dans la discussion de ces cas composés. Un autre principe était encore nécessaire pour établir des relations entre les affinités et les forces électriques, il fallait admettre que lorsque deux corps vont se combiner, si l'on élève leur température, on exalte en même temps leur pouvoir électrique. Pour prouver ce fait, Davy échauffa ensemble un plateau de cuivre et un plateau de soufre, et examina leur électricité à mesure que la température s'élevait. Il trouva qu'à 100° Fahrenheit, elle était déja capable d'affecter les feuilles d'or de l'électroscope, non muni de condensateur. Son énergie devint encore plus grande à mesure que le soufre approchait du terme de sa fusion. Un peu au-delà de ce terme, les effets électriques disparurent et la combinaison eut alors lieu. Ainsi, suivant Davy, tous les signes d'électricité cessent à l'instant où la combinaison s'effectue.

Il chercha à se rendre compte du mode d'action de la pile sur les corps, lequel paraît être de rétablir leur équilibre électrique naturel.

Les énergies électriques des métaux, les uns relativement aux autres, ou des substances dissoutes dans l'eau, semblent être la cause qui trouble l'équilibre, et le changement chimique la cause qui tend à rétablir l'équilibre. Ces phénomènes dépendent très-probablement du concours de leur action.

Pour expliquer tous ces phénomènes, il adopta la théorie du contact, mais il regarda la décomposition chimique du liquide, qui est traversé par le courant, comme la cause indispensable de sa circulation; tout en admettant l'action du contact de Volta, il considéra néanmoins l'action chimique des liquides sur les couples métalliques, comme indispensable pour charger la pile; suivant lui, si le liquide intermédiaire était une substance incapable de décomposition, il y a tout lieu de croire que l'équilibre se rétablirait et le mouvement de l'électricité cesserait. Il regarda cette théorie comme réconciliant les principes de Volta avec les opinions émises par quelques physiciens sur l'origine chimique.

Lorsqu'une décharge électrique est produite par le moyen de petites surfaces dans la batterie de Volta, une chaleur sensible en est la conséquence. Il s'imagina alors que si la décomposition des agents chimiques était essentielle à l'équilibre des électricités opposées, l'effet qui résulte de cette décomposition devait se trouver, dans des circonstances favorables, accompagné d'une élévation de température. Cette supposition le conduisit à faire entrer en ébullition l'eau qu'il avait soumise à l'action d'une pile de 100 paires. En soumettant à l'expérience du nitrate d'ammoniaque, la chaleur dégagée fut si intense, qu'elle fit évaporer toute l'eau en 3 ou 4 minutes, avec un bruit semblable à une explosion. Tel était l'effet produit par l'addition dans l'eau de quelques gouttes d'une dissolution saline, mais, en y introduisant une certaine quantité de forte lessive de potasse, il n'eut aucun effet.

J'ai dit plus haut que Davy pensait que tous les signes d'électricité cessaient à l'instant où deux corps

entraient en combinaison. Il fit plusieurs expériences pour prouver ce fait qui n'est pas exact, comme je le dirai plus loin : car l'action chimique, au contraire, est une des causes les plus déterminantes du dégagement de l'électricité. Voici, au surplus, comment il s'exprima à cet égard :

« Dans les simples cas de changements chimiques, il « ne se produit jamais d'électricité. Le fer qui brûle « dans le gaz oxigène, mis convenablement en commu- « nication avec un électromètre condensateur, ne lui « donne point de charge pendant la combustion. La « potasse pure dans l'état solide, et l'acide sulfurique, « avec lequel on la combine dans un creuset de platine « isolé, ne donnent aucune apparence d'électricité. Un « amalgame solide de bismuth et un autre de plomb « deviennent liquides, lorsqu'on les mêle ensemble, « sans qu'il y ait production d'aucun effet électri- « que, etc. »

Ce n'est que dans les cas d'effervescence, surtout lorsqu'elle est accompagnée de chaleur, que les vaisseaux métalliques, suivant Davy, deviennent négatifs; mais c'est un phénomène qu'il attribue à l'évaporation et non à des changements chimiques. Il est donc bien prouvé par-là qu'il n'admettait pas que l'action chimique fût capable de produire de l'électricité.

Dès l'instant qu'il eut adopté la théorie que je viens d'exposer, il prévit les applications que l'on pourrait en faire à la chimie, aux arts et à la nature. Il réalisa plus tard lui-même cette pensée dans quelques cas.

Il considéra aussi l'action de la pile comme un moyen très-puissant de retirer des minéraux et des substances organiques les matières acides alcalines qui y sont combinées intimement. Ainsi un morceau de fibre musculaire, de deux pouces de long et d'un demi-pouce de diamètre, ayant été soumis, pendant 5 jours, à l'action d'une pile de 150 paires, devint parfaitement sec et dur, et ne laissa aucune trace de matière saline dans l'incinération. La potasse, la soude, l'ammoniaque, avaient été trans-

portées au pôle négatif, les trois acides minéraux et l'acide phosphorique au côté positif.

C'est dans l'application de ce principe que les médecins peuvent espérer trouver quelque avantage à employer l'électricité dans l'art de guérir. Malheureusement jusqu'ici ils n'ont pas suivi cette direction, si l'on en excepte quelques-uns, entre autres M. le docteur Palaprat, qui a déja tenté quelques essais à ce sujet, sur lesquels nous reviendrons dans le cours de cet ouvrage.

On voit que Davy avait déja le pressentiment des grandes découvertes dont il devait enrichir bientôt la science, puisqu'il avança que le mode d'action chimique de la pile pourrait conduire à la découverte des véritables éléments des corps, si les matériaux sur lesquels on agissait étaient employés dans un état de concentration convenable et si l'électricité avait une énergie suffisante. Il était convaincu, en général, que l'électricité devait jouer un grand rôle dans la nature, mais il se borna seulement à exposer ses vues à cet égard, sans les accompagner d'aucune expérience directe. On en a la preuve dans le passage suivant qui termine le Mémoire dont je viens de présenter les principaux résultats :

« On a, jusqu'à présent, fait peu de recherches sur l'é-
« lectricité naturelle, si ce n'est dans le cas où elle se
« manifeste dans l'atmosphère d'une manière évidente
« et dans une puissante concentration. On trouvera
« probablement que ses opérations, lentes et silencieuses
« dans toutes les parties de la surface du globe, sont
« liées plus intimement et d'une manière plus importante
« avec l'ordre et l'économie de la nature; et des recher-
« ches sur ce sujet ne peuvent guère manquer d'éclairer
« les systèmes physiques de la terre; elles pourront
« mettre de nouveaux pouvoirs à notre disposition. »

Davy, qui ne perdait jamais de vue, dans ses recherches scientifiques, les applications aux arts, indiqua quelques circonstances où la décomposition électrique des sels neutres pourrait être appliquée en grand à des usages économiques, en employant le charbon bien fait et la plombagine, ou le charbon et le fer.

Il trouva que les pouvoirs électriques de décomposition agissaient aussi sur les feuilles des plantes, ainsi que sur les plantes et les animaux vivants (1). Il observa, par exemple, que les semences, placées dans l'eau pure à la partie positive du circuit, germent beaucoup plus promptement que dans les circonstances ordinaires et qu'elles ne germent point du tout au côté négatif du circuit. Il avança même que, sans supposer des effets particuliers des électricités différentes, on pouvait expliquer ce phénomène par la saturation d'oxigène du côté positif et celle d'hydrogène du côté négatif. Relativement à l'action de la pile sur les corps vivants, Davy observa que lorsque l'on met les doigts bien lavés avec de l'eau pure en contact avec ce liquide, dans la partie positive du circuit, il se développe rapidement une substance acide qui a les caractères d'un mélange d'acides sulfurique, muriatique et phosphorique. Une semblable épreuve, faite au côté négatif, fournit une substance alcaline fixe. Il est aisé d'expliquer par-là les saveurs acides et alcalines qui sont produites sur la langue dans l'expérience de Sulzer, puisqu'elles proviennent de la réaction de l'acide et de l'alcali provenant de la décomposition de la matière saline, contenue dans la substance animale vivante et peut-être dans la salive.

Davy, dès cette époque, conçut déja la pensée d'introduire dans les organes des animaux des substances acides et alcalines et même des acides métalliques pour modifier quelques-unes de leurs parties.

Guyton-Morveau (2) est un des chimistes qui partagèrent les idées de Davy sur le rôle important que devait jouer le fluide électrique dans la nature, et surtout dans la terre, où il s'opère une foule de réactions lentes; il a même cherché à appuyer son opinion de quelques expériences. Il a d'abord considéré un morceau d'oxide d'antimoine natif, qu'on venait de lui remettre comme

(1) Annal. de Ch., t. LXIII, p. 262.
(2) Annal. de Ch., t. LXIII, p. 113 et suiv.

un passage de sulfure à celui d'oxide pur, lequel avait dû s'opérer au moyen de la décomposition de l'eau par une électricité souterraine semblable à celle de nos appareils. Ce minéral présentait encore la structure de sulfure d'antimoine cristallisé et conservait même dans quelques parties son éclat métallique. En l'examinant avec attention, il admit qu'une action lente avait changé sa composition sans troubler l'arrangement des parties constituantes. Les idées philosophiques qui avaient été proposées sur le même sujet par Davy, et dont j'ai parlé précédemment, lui suggérèrent l'idée de chercher à fortifier les conséquences qu'il venait de déduire par des expériences décisives.

Un fragment de sulfure d'antimoine ayant été soumis à l'action d'une pile suffisamment énergique, peu d'instants après une odeur d'hydrogène sulfuré se développa, la liqueur prit une nuance jaune, et le sulfure parut d'un jaune plus foncé et comme irisé, ce qui annonçait un commencement de décomposition. La lame négative devint noire et l'autre se recouvrit d'un léger encroûtement jaune, qui jouissait des propriétés de l'oxide d'antimoine. Il regarda ce résultat comme une preuve que le sulfure d'antimoine pouvait être transformé immédiatement en oxide par l'action des forces électriques. Il opéra de la même manière sur d'autres sulfures naturels, qui le conduisirent à des résultats semblables.

§ XIV. *Suite des travaux de Davy; décomposition des alcalis et des terres.*

Davy avait fait entrevoir, dans son dernier Mémoire, le parti que l'on pourrait tirer un jour de la pile, comme moyen de décomposition; il voulut joindre l'exemple au précepte en recherchant les bases des alcalis et des terres (1).

(1) Annal. de Ch., vol. LXVIII, p. 203.

Dans les premiers essais qu'il fit sur la décomposition des alcalis en dissolution aqueuse, il s'aperçut que la présence de l'eau était un obstacle à la production du phénomène. Il soumit ensuite à l'expérience la potasse à l'état de fusion ignée. Pendant toute la durée de l'expérience, on vit paraître au fil négatif une lumière très-intense, et au point de contact une colonne lumineuse qui paraissait due au développement d'une matière combustible. Le platine était fortement attaqué, et il l'était surtout au plus haut degré dans le cas où il se trouvait dans la partie négative du circuit; en opérant ainsi, il ne put jamais recueillir la matière combustible dégagé par l'action électrique. Il fut obligé d'employer l'électricité comme agent commun pour la fusion et la décomposition : il y parvint, en humectant légèrement la potasse, qui fut placée sur une lame de platine mise en communication avec le pôle négatif d'une batterie de 250 plaques, tandis que le circuit fut formé au moyen d'un fil de platine. Une action très-vive se manifesta aussitôt, la potasse se fondit aux deux points électrisés. Du côté négatif il n'y eut aucun dégagement de fluide élastique, mais on y découvrit de petits globules qui avaient un éclat métallique très-brillant et brûlaient avec explosion et une flamme vive à l'instant de leur formation; les globules qui n'étaient pas brûlés ne tardaient pas à se ternir et à se transformer en potasse. Ce principe inflammable était donc la base de la potasse.

La soude donna le même résultat, mais sa décomposition exigea une plus grande intensité d'action voltaïque. Il reconnut dans ces nouveaux corps les propriétés qui caractérisent les métaux, à l'exception cependant de leur pesanteur spécifique, qui se trouva être moins forte que celle de l'eau, dans le rapport de 0,77 à 1 pour la potasse, et de 0,93 à 1 pour la soude. Ces nouveaux métaux reçurent le nom de potassium et de sodium; pour les préserver de l'action de l'air, il fallut les conserver dans le naphte nouvellement distillé.

Il prouva que la vive déflagration qui avait lieu à

l'instant de leur contact avec l'eau, provenait de la prompte décomposition de celle-ci, qui cédait son oxigène au nouveau métal.

Leur action sur le mercure attira son attention; il profita des observations qu'il fit à ce sujet, pour se procurer une plus grande quantité des nouveaux métaux, en les combinant immédiatement avec le mercure à l'instant de leur réduction et enlevant ensuite le mercure au moyen de la distillation.

Il chercha ensuite à obtenir les métaux de la baryte et de la strontiane. En soumettant à l'action d'une forte batterie des morceaux de ces bases humectés d'eau, il vit aux deux points de communication une action vive et une lumière brillante, puis inflammation à la pointe négative; la baryte ou la strontiane chauffée dans le circuit électrique par une flamme entretenue de gaz oxigène ne conduisait pas l'électricité, tandis qu'en la combinant avec l'acide borique, elle devenait conductrice, et on voyait alors sortir du côté négatif une matière qui brûlait avec une lumière rouge foncé; il ne put jamais recueillir cette substance inflammable qu'il annonça être la base de la terre.

En soumettant à l'expérience de l'acide borique humecté, il vit paraître à la surface négative une matière combustible de couleur foncée, qui lui parut être le résultat d'une décomposition. Il annonça alors qu'il était probable que les acides muriatique, fluorique et boracique devaient contenir de l'oxigène.

Dans un autre Mémoire (1), communiqué à la Société royale, le 30 juin 1808, Davy fit connaître de nouvelles méthodes pour décomposer les terres alcalines. La baryte, la strontiane et la chaux, légèrement mouillées, furent électrisées avec des fils de fer sous le naphte. Les terres, au pôle négatif, prirent une couleur sombre et montrèrent quelques points ayant le brillant métallique

---

(1) Annal. de Ch., t. LXX, p. 189.

qui blanchirent graduellement au contact de l'air. Il eut alors l'idée d'essayer si le potassium ne pourrait pas enlever l'oxigène aux terres. Il ne put réaliser ce projet; mais, ayant trouvé dans le cours de ses recherches sur le potassium que lorsqu'un mélange de potasse et d'un oxide de mercure d'étain ou de plomb était électrisé, la décomposition était très-rapide, et qu'il se formait aussitôt un amalgame de potassium; il appliqua cette méthode à la réduction des terres alcalines. En conséquence il électrisa des mélanges de ces corps avec les oxides d'étain, de plomb, d'argent et de mercure. Ces essais furent plus satisfaisants que les précédents, car il se déposa, au pôle négatif, une petite quantité d'une substance ayant la blancheur de l'argent qu'il reconnut pour un amalgame; mais il paraît néanmoins que le résultat de ses expériences ne fut pas très-concluant.

Tandis qu'il était occupé de ces recherches, il reçut, au commencement de juin 1808, une lettre de M. Berzelius qui lui annonçait que, conjointement avec le docteur Pontin, il était parvenu à décomposer la baryte et la chaux en les électrisant négativement en contact avec le mercure. Il répéta aussitôt l'expérience avec sa grande batterie et obtint l'amalgame de barium qui, projeté dans l'eau, la décomposa; il se dégagea de l'hydrogène, et le mercure devint libre; la chaux et la strontiane donnaient des résultats analogues. Quant à la magnésie, il fallut continuer l'opération pendant long-temps pour produire l'amalgame; son action sur l'eau fut très-lente. L'opération fut plus facile, en employant le sulfate de magnésie mouillé au lieu de la magnésie. Désirant avoir des amalgames en quantité suffisante pour les distiller, il combina sa méthode avec celle de MM. Berzelius et Pontin.

Il donna à ces nouvelles bases les noms de barium, strontium, calcium et magnium.

L'alumine, la silice, la zircone et la glucine, soumises au même mode d'expérimentation, ne le conduisirent à aucun résultat. Il fut obligé, pour opérer leur

réduction, d'avoir recours à un autre procédé, fondé sur l'affinité que le potassium pouvait avoir pour les métaux des terres. Il mit dans un creuset de platine un mélange d'une partie de silice et de six parties de potasse qu'il maintint en ignition, et établit ensuite la communication avec la grande pile; le creuset fut mis en rapport avec le pôle positif, et le menstrue alcalin avec le pôle négatif au moyen d'une tige de platine; il se fit aussitôt une effervescence, et des globules brillantes s'élevèrent à la surface. Il se forma autour de la baguette des écailles métalliques brillantes, qui blanchirent au contact de l'air et firent effervescence dans l'eau. L'addition de quelques gouttes d'acide hydro-chlorique en dégagea aussitôt de la silice. L'alumine donna un résultat semblable. Il conclut de toutes ces expériences que l'alumine, la zircone et la silice étaient, comme les terres, des oxides métalliques.

Une autre question attira son attention, c'est celle de la formation, de la nature et des propriétés de l'amalgame produit par l'ammoniaque. Ce nouveau composé provoqua une vive discussion entre Davy, Berzelius, d'une part, Gay-Lussac et Thénard de l'autre. Les premières expériences, pour obtenir cet amalgame, sont dues au docteur Seebeck (1), qui le découvrit dans les premiers mois de 1808, en faisant réagir, au moyen de la pile, le mercure sur le carbonate d'ammoniaque. Il annonça le fait, sans donner aucune théorie. MM. Berzolius et Pontin, dans la communication qu'ils firent à Davy, lui annoncèrent qu'ils étaient parvenus à combiner le mercure avec la base de l'ammoniaque, fait qui semblait prouver, suivant eux, que l'ammoniaque était un oxide à base ternaire (2). Lorsque l'on forme l'amalgame ammoniacal, le mercure augmente graduellement de volume, et quand il est devenu 4 ou 5 fois plus

(1) Annal. de Ch., t. LXVI, p. 191.
(2) Bibl. Britann., juin 1809, p. 122.

étendu que dans son état primitif, il devient solide et d'une consistance molle. Suivant MM. Berzelius et Pontin, cette matière est un composé de mercure et de la base désoxigénée de l'ammoniaque, parce qu'il se reproduit du mercure et de l'ammoniaque au contact de l'air et de l'eau, et qu'il se dégage, dans ce dernier cas, de l'hydrogène, tandis que le mercure devient graduellement libre. Davy partagea leur manière de voir et l'appuya de plusieurs expériences. Il s'attacha particulièrement à prouver l'existence de l'hydrogène dans l'amalgame ammoniacal. Il dit, à ce sujet, que plus on considère les propriétés de l'amalgame ammoniacal, plus elles paraissent extraordinaires, et qu'il ne peut concevoir comment une substance formant avec le mercure un amalgame aussi parfait, ne soit pas métallique dans sa propre nature. Il donna le nom d'ammonium au radical de l'ammoniaque.

MM. Gay-Lussac et Thénard n'adoptèrent pas cette théorie; ils communiquèrent à l'Institut, en septembre 1809, le résultat de leurs recherches sur la production d'un amalgame par l'ammoniaque et les sels ammoniacaux, au moyen de la pile (1).

Davy, qui avait considéré, à l'exemple de MM. Berzelius et Pontin, l'amalgame ammoniacal comme résultant de la combinaison du mercure avec l'ammonium, chercha, mais inutilement, à obtenir ce nouveau métal en distillant l'amalgame dans des vases à l'abri du contact de l'air, comme il avait fait pour le potassium et le sodium. Il ne put jamais obtenir que du mercure, de l'hydrogène et de l'ammoniaque. Il attribua dès lors la destruction de l'ammonium à une très-petite quantité d'eau dont on ne pouvait priver l'amalgame, et expliqua par ce moyen la présence de l'hydrogène et de l'ammoniaque. Suivant Davy, l'ammoniaque n'était plus un composé d'azote et d'hydrogène, mais bien un oxide

(1) Annal. de Ch., t. LXXIII, p. 193.

métallique, puisque l'azote, suivant lui, n'était qu'un oxide formé d'hydrogène et d'oxigène, c'est-à-dire un véritable oxide métallique hydrogéné.

MM. Gay-Lussac et Thénard s'occupèrent de rechercher la nature de cet amalgame; après l'avoir bien fait sécher, ils le versèrent dans un petit flacon de verre long, étroit et rempli d'air, et l'agitèrent pendant quelques minutes. Ce moyen suffit pour le détruire, les corps qui le constituaient se séparèrent et reprirent leur état ordinaire; le résultat de la décomposition se trouva formé de mercure, d'hydrogène et d'ammoniaque à l'état gazeux qui se mêlèrent avec l'air du flacon, sans l'altérer en aucune manière. Ils conclurent aussitôt que l'amalgame ammoniacal était un composé de mercure, d'hydrogène et d'ammoniaque, qui ne pouvait exister que sous l'influence électrique. Ayant analysé les deux gaz contenus dans l'amalgame, ils trouvèrent 28 parties de gaz ammoniac et 23 d'hydrogène.

Davy (1) se plaignit immédiatement de ce que MM. Gay-Lussac et Thénard avaient avancé qu'il s'était prononcé sur la nature de l'ammoniaque, tandis qu'il s'était borné seulement à dire qu'il était possible que l'ammoniaque eût une base qui, par son oxidation, se transformât en alcali, mais sans l'affirmer. Quant à l'expérience sur laquelle les physiciens français s'étaient appuyés pour prouver que cet amalgame n'était qu'une combinaison d'ammoniaque, de mercure et d'hydrogène, il prétendit qu'ils n'avaient pu dessécher complétement cet amalgame, en se bornant à essuyer sa surface avec du papier brouillard, et que dès lors on pouvait admettre son explication. Toutes les expériences, dit-il, dans lesquelles j'ai exclus l'eau avec le plus grand soin, m'ont donné deux parties d'ammoniaque pour une d'hydrogène; et si ces messieurs ont obtenu si peu d'ammoniaque, cela doit être attribué à ce qu'elle était ab-

(1) Annal. de Phys. et de Ch., t. LXXV, p. 256.

sorbée par l'eau qui adhérait à la surface de l'amalgame. Au surplus, dans son Mémoire, Davy répète qu'il n'avait jamais eu la pensée de se prononcer positivement sur un sujet aussi nouveau et aussi obscur, et qu'il avait seulement présenté des hypothèses pour expliquer les faits.

MM. Gay-Lussac et Thénard répliquèrent à Davy (1) qu'il n'en était pas précisément ainsi, attendu qu'il avait annoncé son opinion d'une manière assez affirmative, et que leurs expériences, quelque imparfaites qu'elles parussent, avaient commencé à ébranler son opinion relativement à la nature de l'amalgame ammoniacal, puisqu'il regardait la leur comme la plus probable.

Davy, dont les vues philosophiques étaient très-étendues, ne laissait jamais échapper l'occasion de rattacher ses découvertes à l'explication de quelques phénomènes de la nature (2). Il avança que si les métaux des alcalis et des terres ne pouvaient exister à la surface de notre globe, il était très-possible qu'ils fissent partie de son intérieur, et que leur existence, si on était fondé à l'admettre, offrirait une théorie des phénomènes volcaniques, particulièrement de la formation des laves, de l'excitation et des effets de la chaleur souterraine. Il rapporta même la formation des aérolithes et leur apparence lumineuse aux métaux des terres et des alcalis qui, en entrant dans notre atmosphère, éprouvaient aussitôt une combustion et une combinaison de leurs oxides, d'où résultaient la lumière et les détonations qui accompagnent toujours leur chute. Relativement à la présence des alcalis et des terres dans les corps organisés, les expériences qui ont pu faire croire que ces bases peuvent se former de l'air et de l'eau seulement, par les procédés de la végétation, ont toujours été faites d'une manière peu concluante; car l'eau distillée, ainsi

---

(1) Annal. de Ch., t. LXXV, p. 291.
(2) Annal. de Ch., t. LXX, p. 251.

que Davy a tâché de le montrer, peut se trouver imprégnée de matières soit salines, soit métalliques; et l'air tient presque toujours en état de suspension mécanique des substances solides de tout genre.

On peut aisément concevoir que, dans les procédés ordinaires de la nature, tous les produits des êtres vivants peuvent procéder des combinaisons connues de divers éléments. Les composés du fer, des alcalis et des terres avec les acides minéraux abondent pour l'ordinaire dans la terre végétale. La décomposition de roches basaltiques, porphyroïdes et granitiques, fournit constamment, à la surface du sol, des éléments terreux, alcalins et ferrugineux. On a trouvé dans la sève de toutes les plantes qu'on a examinées certains composés neutro-salins qui contenaient de la potasse ou de la soude et du fer. Ces principes peuvent passer des plantes aux animaux, et l'action chimique de l'organisation paraît tendre plutôt à s'unir les substances, sous des combinaisons plus compliquées et plus variées, qu'à les réduire à leurs plus simples éléments.

Les expériences de Davy sur la séparation et la translation des agents chimiques au moyen de la pile, firent supposer à Wollaston (1) qu'il existait peut-être une influence analogue dans le système des sécrétions animales, et que cette action électrique, moins intense que celle que l'on observe dans la torpille, pourrait servir à l'explication de plusieurs phénomènes, tels, par exemple, que la rapidité des communications de l'influence nerveuse dans les diverses parties du système vivant.

Pour éclaircir cette hypothèse, il fit une expérience très-simple pour démontrer que l'action d'un seul couple voltaïque pouvait décomposer une solution de sel marin.

Cette expérience, suivant cet ingénieux physicien, confirma la conjecture que les sécrétions animales qui n'ont pas encore été expliquées, pourraient bien être

---

(1) Philosoph. Magaz., juin 1809.

l'effet de quelque force analogue. Les qualités de chacun des deux fluides qui résultent de ces sécrétions pourraient faire connaître quelle est l'espèce d'électricité qui prévaut dans chacun des organes particuliers du corps animal. Aussi en tira-t-il cette conséquence, que Napoléon avait déja aperçue, savoir, que la surabondance acide que l'on remarque, en général, dans l'urine, paraît indiquer dans les reins un état d'électricité positive et dans les vaisseaux du foie un état négatif.

La pile donna lieu, dès l'époque même de sa découverte, à mille recherches diverses, tant on était persuadé qu'elle tenait en réserve des trésors pour quiconque saurait l'interroger; et, certes, l'expérience n'a pas démenti cette croyance, car journellement encore cet admirable instrument permet d'enrichir la science de nouveaux faits. Aussitôt la découverte de Davy, MM. Gay-Lussac et Thénard (1) se livrèrent à une suite de recherches physico-chimiques, à l'occasion d'une grande pile donnée à l'École polytechnique par Napoléon. Ils s'appliquèrent entre autres à déterminer l'influence que pouvaient exercer sur l'action chimique le nombre des couples et la nature du liquide, et furent conduits à plusieurs faits importants; en prenant pour mesure de l'énergie chimique la quantité de gaz fournie dans un temps donné, ils trouvèrent : 1° que celle qui est fournie dans chaque expérience dépend, et de la conductibilité du liquide que l'on décompose, et de la nature de celui qui sert à charger la pile; 2° que l'énergie de la pile est plus grande avec un mélange d'acide et de sel qu'avec un acide seul; 3° que les effets chimiques de la pile sont proportionnels à la force de l'acide avec lequel on la met en activité; 4° qu'ils n'augmentent pas dans le même rapport que le nombre de paires et qu'ils s'éloignent peu d'être proportionnels à la racine cubique du nombre des plaques. Ces deux célèbres chimistes firent encore d'au-

(1) Recherches physico-chimiques, t. 1er.

tres observations importantes dont je ne puis parler ici, attendu les détails dans lesquels je serais obligé d'entrer.

Les grandes découvertes dont Davy avait enrichi la science électro-chimique le plaçaient hors de ligne avec les autres physiciens qui avaient parcouru la même carrière depuis Volta; aussi l'Institut lui décerna-t-il le prix de 60,000 f. qui avait été promis par Napoléon à l'auteur des plus grandes découvertes en électricité, comparables à celles de Volta et de Galvani.

§ XV. *Des piles sèches.*

L'expérience avait prouvé, dès l'origine, qu'il était nécessaire de désorganiser les piles pour produire des décompositions chimiques; pour remédier à cet inconvénient, on chercha s'il n'était pas possible d'arriver au même but sans employer de liquide. Ce problème n'a pas encore été résolu, mais les recherches auxquelles il donna lieu nous firent connaître des piles d'un ordre particulier qui ne sont pas sans quelque utilité pour la science. En 1803, MM. Hachette et Desormes (1) remplacèrent le liquide dans les piles ordinaires par la colle d'amidon. Deluc trouva, en 1809, une combinaison de couples voltaïques, qui fonctionnaient en apparence sans l'intermédiaire d'un liquide. Son appareil consistait en une colonne formée de disques de zinc et de papier doré, d'un côté seulement, entassés les uns sur les autres, le zinc en contact avec la face dorée. L'humidité du papier suffisait pour charger la pile. C'est donc à tort qu'on lui donna le nom de pile sèche. Zamboni (2), en 1812, apporta quelques perfectionnements à l'appareil de Deluc. Il entassa, comme ce dernier, en les pressant fortement les uns contre les autres, des milliers de disques de papier, dont l'une des surfaces était étamée et l'autre recouverte d'une couche

(1) Note historique sur les piles sèches. (Annal. de Ch. et de Phys., t. v, p. 191.)

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. xi, p. 190.

très-mince de peroxide de manganèse broyé avec un mélange de farine et de lait. L'humidité du papier servait encore, dans cette pile, comme dans celle de Deluc, à établir la circulation du fluide électrique qui, en raison du peu de conductibilité du papier, est toujours plus lente que dans les piles ordinaires; aussi, quoique ces appareils donnassent des étincelles au condensateur, on ne parvint jamais à produire avec ces piles, ni décompositions, ni effets calorifiques, toutes les fois que le nombre des éléments, était considérable, comme dans la pile de Volta; parce que la circulation du fluide électrique s'y faisait trop lentement. En diminuant cependant le nombre des éléments, on parvient à décomposer l'eau, comme M. Pelletier l'a prouvé dans ces derniers temps. Les piles de ce genre cessent de fonctionner au bout d'un certain temps, quand le papier a perdu toute son humidité.

Jusqu'à présent les piles sèches n'ont été employées qu'à deux usages, 1° à produire un mouvement continu, au moyen des attractions et des répulsions qu'exercent les électricités accumulées aux deux pôles; mouvement qui ne peut être régulier, en raison des causes atmosphériques variables, qui apportent des changements dans le dégagement de l'électricité; 2° à constater la présence de très-petite quantité d'électricité accumulée sur le plateau inférieur du conducteur.

§ XVI. *Propriétés particulières à chaque fluide; le doubleur d'électricité.*

Les partisans de la doctrine de Franklin firent valoir en leur faveur une propriété particulière de l'électricité, qui se manifeste dans la décharge de la bouteille de Leyde. Si l'on place une carte entre deux pointes en communication avec les deux surfaces d'une batterie électrique, mais non vis-à-vis l'une de l'autre, et adhérentes à la carte, à l'instant de la décharge l'étincelle part de la pointe positive, glisse sur la surface de la carte qui est

de ce côté, et se fait un passage vis-à-vis de la pointe négative. M. Trémery (1) a donné une explication satisfaisante de ce phénomène dans la théorie des deux fluides; il admit que la force coercitive des corps isolants, c'est-à-dire, la résistance qu'ils opposent au mouvement du fluide électrique dans leur intérieur, n'est pas la même pour chacun des deux fluides, de sorte qu'il peut bien se faire que, dans certains cas, elle soit plus grande pour un des fluides que pour l'autre; que l'air atmosphérique est dans ce cas, et oppose une grande résistance au fluide négatif, tandis qu'il ne résisterait pas autant aux mouvements du fluide positif. Effectivement, M. Trémery a trouvé qu'en opérant dans le vide, la carte était percée au milieu de la distance située entre les deux pointes. Cet exemple d'une différence dans le mode d'action des deux fluides n'est pas le seul. Erman en a trouvé deux autres; ayant isolé une pile chargée avec un bon conducteur, il fit communiquer chacun de ses pôles avec un électroscope d'or très-sensible, qui acquit bientôt un degré de divergence qui resta constant pendant quelque temps.

Il prit ensuite un prisme de savon bien sec et inséra dans un de ses bouts un fil de métal qui communiquait avec le sol; puis il toucha par l'autre bout l'un quelconque des pôles de la pile; ce pôle fut aussitôt déchargé comme l'électroscope l'indiqua, et l'électroscope de l'autre pôle divergea aussitôt davantage. Il fit ensuite une autre expérience, la pile restant toujours isolée. Il fit commmuniquer les deux pôles ensemble par l'intermédiaire du même savon. Les deux électroscopes continuèrent à diverger comme avant, d'où il conclut que le savon était, dans ce cas, un mauvais conducteur. Il toucha ensuite le savon avec un fil de métal; le pôle négatif fut déchargé, tandis que le pôle positif atteignit un maximum de tension : ainsi, dans ce cas, le savon de-

(1) Journ. de Phys., floréal an x, p. 357.

vint conducteur seulement pour l'électricité négative.

En soumettant la flamme de l'alcool au même mode d'expérimentation, Erman trouva des effets semblables, mais, dans ce cas, la flamme conduisit plus facilement l'électricité positive que l'autre. M. Biot a reconnu que l'éther jouissait des mêmes propriétés que le savon et l'alcool (1).

MM. Desormes et Hachette communiquèrent à la Société philomathique, le 12 frimaire an XI, un Mémoire dans lequel ils donnèrent la théorie du doubleur d'électricité de Bennet et de Nicholson (2). Cet instrument ne commença à fixer l'attention des physiciens qu'à l'époque où Réad publia son ouvrage sur l'électricité des airs, qui ne fut connu en France qu'en 1796. MM. Desormes et Hachette s'étant servis de celui qui avait été exécuté pour l'École de médecine, afin de répéter les premières expériences de Bennet et de Volta sur l'électricité des métaux en contact, reconnurent plusieurs imperfections, qu'ils ont tâché d'éviter dans la construction d'un autre appareil. La théorie qui est fondée sur les influences électriques fut exposée dans les Annales de Chimie, frimaire an XII. Son objet est d'augmenter, à l'aide d'un disque circulaire mobile, la quantité d'électricité contenue dans deux autres disques semblables et supposée fixe.

§ XVII. *Des Théories électro-chimiques.*

La discussion des diverses théories de la pile et de ses propriétés chimiques conduisit de nouveau les physiciens à rechercher si les affinités chimiques ne pourraient pas être attribuées à l'action des forces électriques : quand on vit deux corps, mauvais conducteurs de l'électricité, qui possédaient chacun une électricité con-

(1) Bullet. des Sc., 1816, p. 103.

(2) Annal. de Ch., t. XIV ; Transac. Philos. Précis sur un doubleur d'élect., 1787, p. 283 ; 1778. Nicholson, p. 403.

traire, s'attirer l'un l'autre et rester en contact plus ou moins de temps, suivant leur faculté isolante, on dut concevoir la possibilité de faire dépendre les affinités chimiques du jeu des forces électriques, puisqu'il suffisait d'admettre que les molécules de deux corps, au moment de leur combinaison, se trouvaient dans deux états électriques opposés.

Quelle est la cause qui attire et tient unies les unes aux autres les dernières particules des corps dans leur combinaison réciproque? C'est là une de ces grandes questions de la philosophie naturelle dont on cherche depuis long-temps la solution, sans avoir encore eu le bonheur de la trouver. Cette cause est-elle électrique ou non? Toutes les découvertes modernes tendent à lui donner une origine électrique. Voyons les tentatives qui ont été faites pour établir ce rapprochement. Ce qui frappe en premier lieu, c'est que les forces électriques et les forces chimiques ont une propriété commune, celle de s'entre-détruire l'une l'autre ; qu'elles sont répandues dans tous les corps, où elles sont ordinairement dans un état d'équilibre; que l'une venant à exercer son action, l'autre paraît aussitôt; de sorte qu'il existe entre elles une dépendance mutuelle, qui semble d'autant plus indiquer une origine commune, que ces deux espèces de forces ont encore d'autres rapports mutuels nombreux.

Depuis long-temps, on a pris pour base des théories chimiques celle de la chaleur et du feu; il peut en être de même de la théorie électro-chimique.

Franklin et Priestley firent déja ce rapprochement, car ils rapportèrent tous les phénomènes électriques à l'action d'une matière unique qu'ils regardèrent comme identique avec le phlogistique.

L'abbé Nollet fit plus, il avança que l'électricité était le feu élémentaire qui produisait la chaleur, la lumière, les actions magnétiques et chimiques. Ce n'était encore là qu'une idée générale, fondée sur aucune expérience positive, mais seulement un de ces aperçus ingénieux

qui commencent à jeter quelque lumière sur la science.

Wilke fit plus, il essaya de prouver que le feu avait une origine électrique.

Hube, dans son Traité de physique, jeta en avant cette conjecture, que les attractions chimiques devaient être rapportées aux forces électriques.

Ritter, après avoir fait un grand nombre d'expériences sur les propriétés chimiques de la pile, eut la même idée et créa une théorie qu'il développa avec talent. Les efforts qu'il fit pour tenter d'établir ce rapprochement, ne furent pas inutiles pour la science. A côté de ce physicien on peut placer Winterl qui, en raison de la manière dont il considérait l'acidité et l'alcalinéité, a préparé les esprits à l'adoption d'une théorie électro-chimique. Malheureusement on peut reprocher à ces deux savants de s'être jetés dans des considérations métaphysiques où il est difficile de les suivre, et d'avoir voulu découvrir *a priori* des faits qui sont encore enveloppés de beaucoup d'obscurité.

M. Œrsted (1), en 1799 et 1800, dans plusieurs Mémoires qu'il publia sur l'identité des forces chimiques et électriques, s'appliqua à démontrer qu'il était possible de concevoir les phénomènes chimiques comme le résultat de l'action de deux forces générales, répandues dans tous les corps; mais il n'eut pas besoin de supposer des forces arbitraires, il se servit de celles dont les effets nous sont rendus sensibles par des attractions et des répulsions électriques. Il déduisit comme conséquence de sa théorie ou plutôt de son système, que les affinités, la chaleur, la lumière et le magnétisme étaient dus à des actions électriques. Ce sont ces mêmes idées qui le conduisirent plus tard à découvrir l'action d'un courant électrique sur un aimant, découverte du premier ordre, dont les conséquences sont immenses pour

---

(1) Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques; traduit de l'allemand, par M. Marcel de Serres, 1813.

l'avancement de la science, comme nous aurons bientôt l'occasion de le voir. Quoique ce système ait augmenté nos richesses scientifiques, on doit regretter qu'il n'ait pas été appuyé, en général, de ces expériences décisives qui portent la conviction dans tous les esprits. L'ouvrage dont il est ici question est remarquable dans plusieurs parties, mais il est empreint de cette philosophie spéculative dont on doit user avec discrétion dans les recherches scientifiques. Un homme de la portée de M. OErsted peut bien se permettre de jeter en avant des idées hardies, mais les adeptes doivent user avec réserve d'une méthode qui n'est pas basée sur l'expérience.

J'ai dit que l'on avait toujours pris pour base de toute théorie électro-chimique celle de la combustion et des phénomènes qui l'accompagnent. Nous sommes conduits ici à dire quelques mots des théories chimiques.

Stahl chercha à expliquer la combustion par le dégagement d'un principe imaginaire, qui produisait la chaleur et auquel il donna le nom de phlogistique; principe qui, suivant lui, était celui de la combustibilité. Ce système fut développé avec tant de talent par son auteur, qu'il servit de guide à la science pendant près d'un demi-siècle. En vain observait-on à Stahl que des corps, en brûlant, augmentaient de poids, au lieu de devenir moins pesants par la perte d'un principe; il répondait que le phlogistique était le principe de la légèreté qui, en se dégageant, devait diminuer nécessairement le poids des corps.

Lavoisier ne se contenta pas de cette raison; aidé de quelques observations faites avant lui, et d'un grand nombre d'expériences qui lui sont propres, il prouva que la combustion était le résultat de la combinaison d'un corps combustible avec un autre corps gazeux, auquel il donna le nom d'oxigène. Cette théorie, quoique très-rationnelle, ne reçut pas d'abord l'assentiment général, tant le phlogistique avait jeté de profondes racines dans tous les esprits. Mais Lavoisier ne se laissa

pas abattre par toutes les difficultés qu'on lui suscitait, il accumula preuve sur preuve en faveur de sa théorie, et parvint à renverser complétement le phlogistique. Après avoir expliqué la combustion, il voulut aussi rendre compte de la chaleur qui l'accompagne et de celle que l'on retrouve en général dans les actions chimiques.

Suivant cet illustre chimiste, le gaz oxigène, à l'instant où il se solidifie, abandonne le calorique qui le tenait à l'état gazeux, et il en résulte la chaleur. Quant à l'explication des phénomènes de lumière qui ont lieu dans la combustion, il ne fut pas aussi heureux.

Après la mort de ce grand homme, on prouva que le gaz oxigène, quand il se combine avec le charbon, pour former de l'acide carbonique, ne change pas de volume. Il aurait donc dû résulter de ce phénomène un abaissement de température, puisque le carbone passait de l'état solide à l'état gazeux, mais il n'en est pas ainsi, car la température s'élève, au contraire, considérablement. Pour expliquer cette difficulté, on dit que la chaleur spécifique du gaz acide carbonique étant inférieure à celle de l'oxigène et du carbone avant leur combinaison, il y avait nécessairement du calorique mis en liberté; mais cette explication fut renversée aussitôt que l'on eut déterminé avec exactitude la chaleur spécifique des gaz, puisque celle du gaz acide carbonique, loin d'être inférieure à celle du gaz oxigène, est au contraire plus considérable.

D'autres exemples, analogues à celui que je viens de rapporter, tendent à prouver que la présence de la chaleur et de la lumière, dans les actions chimiques, est due à une autre cause que celle qui avait été adoptée par Lavoisier. Je citerai particulièrement la lumière qui est produite dans certains cas où il n'y a pas d'action chimique, mais seulement un changement dans la constitution des molécules, comme la zircone, l'oxide de chrôme et d'autres corps qui, lorsqu'ils ont été exposés à une haute température, perdent seulement la faculté de

former momentanément des combinaisons avec les acides.

Dans l'état actuel de la science, il est impossible de séparer la lumière dé la chaleur, ce sont deux effets qui proviennent de la même cause.

La science en était arrivée à ce point, que l'on ne savait quelle théorie adopter pour expliquer les actions chimiques, ainsi que les phénomènes de chaleur et de lumière qui les accompagnent, lorsque Davy entreprit de résoudre cette question en s'appuyant sur des expériences dont j'ai déja fait connaître les résultats principaux. Il suivit donc une autre marche que ses devanciers pour jeter les bases d'une théorie électro-chimique, puisqu'il s'appuya constamment sur des observations qui paraissaient alors décisives. Je me bornerai seulement ici à rapporter les conséquences principales qu'il en tira, parce qu'elles forment les bases de la nouvelle théorie électro-chimique. Parmi les substances qui se combinent chimiquement, toutes celles dont les énergies électriques sont bien connues, manifestent des états électriques opposés, par leur contact mutuel; ainsi le cuivre et le zinc, l'or et le mercure, le soufre et les métaux, les substances acides et alcalines, donnent des résultats conformes à ce principe; ainsi les substances acides ou celles qui se comportent comme telles dans les combinaisons, prennent l'électricité négative, et les substances alcalines, l'électricité positive; enfin l'état électrique de tension augmente avec la température.

Davy posa en principe qu'en supposant deux corps dont les molécules soient dans deux états électriques différents, suffisamment exaltés pour leur donner une force attractive supérieure au pouvoir de l'agrégation, il éclate du feu, c'est-à-dire de la chaleur et de la lumière, par suite de la réunion des deux électricités, et il se forme alors une combinaison. Voilà les bases de la théorie électro-chimique telle que l'a conçue Davy.

Suivant cette théorie, tous les signes d'électricité cessent aussitôt que les actions chimiques commencent, de sorte que l'on ne voit pas quelle est la cause qui

tient accolées les molécules les unes aux autres dans les combinaisons.

Davy éluda donc la difficulté, puisqu'il se borna à parler des effets électriques qui ont lieu dans le contact des corps, jusqu'à l'instant où la combinaison s'effectue, sans parler des forces qui maintiennent la combinaison.

M. Berzelius a repris cette théorie, lui a donné de grands développements et en a fait la base de la chimie moderne. On lui doit particulièrement d'avoir établi des rapports entre les pouvoirs électriques des corps et leurs propriétés chimiques, rapports que Davy n'avait fait qu'indiquer d'une manière générale. Il admet de plus que Davy, que les atomes des corps possèdent une certaine polarité électrique et une différence d'intensité dans l'action de chaque pôle. Il a discuté d'abord ces deux points : Comment l'électricité se trouve-t-elle dans les corps? Comment un corps est-il électro-positif ou électro-négatif, ou tantôt l'un et tantôt l'autre.

Un corps ne devient jamais électrique, dit-il, sans que les deux principes électriques se manifestent soit dans différentes parties du corps, soit du moins dans sa sphère d'activité : quand les deux électricités se montrent séparément dans un corps où il y a continuité, elles se trouvent toujours placées dans deux points opposés, comme la tourmaline et quelques autres cristaux nous en offrent l'exemple.

Mais, considérant que les mêmes parties d'un corps possèdent les mêmes propriétés que lui, il est conduit par là à admettre que les corps sont composés d'atomes qui ont chacun une polarité électrique telle que chaque pôle n'a pas la même intensité. C'est de cette polarité que dépendent, selon cet illustre chimiste, les phénomènes chimiques et dont l'inégale intensité est la cause de la différence de force avec laquelle s'exercent les affinités. Les corps, d'après cela, seraient donc électro-positifs et électro-négatifs dans les combinaisons, selon que l'un ou l'autre pôle prédominerait.

M. Berzelius fait observer que le degré de polarité doit dépendre beaucoup de la température qui accroît son intensité et dont les modifications lui font subir différents changements; c'est ainsi qu'un grand nombre de corps qui paraissent n'avoir qu'une très-faible polarité électrique, à la température ordinaire de l'atmosphère, en acquièrent une très-forte, au degré de la chaleur rouge. Cette propriété n'est pas générale, puisqu'il y a des corps qui la perdent à une température élevée; mais ici la théorie se tait pour expliquer cette différence.

Une combinaison ne peut s'effectuer qu'autant que les particules polarisées d'un des corps ou des deux corps se meuvent avec assez de facilité pour qu'elles tournent leurs pôles opposés, ce qui exige que l'un des corps, au moins, soit à l'état liquide, condition qui est indispensable, comme on sait, pour qu'une combinaison puisse s'effectuer.

M. Berzelius ne dit que peu de mots touchant la force de cohésion, de cette force qui retient en contact les molécules similaires; c'est là, il faut l'avouer, la pierre d'achoppement des théories électro-chimiques. Il se borne à dire qu'il est probable que les atomes des corps conservent, après leur combinaison, un certain degré de polarité et cherchent alors à se joindre par leurs pôles opposés. Il compare la cohésion à ce qui se passe quand un plateau de l'électrophore électrisé positivement est retenu par l'électricité positive du gâteau, sans qu'il y ait perte d'électricité ni d'un côté, ni de l'autre. La combinaison chimique, suivant lui, pourrait être comparée à la neutralisation des deux électricités opposées, lorsque la plaque inférieure du plateau est mise en communication avec le plateau supérieur; ce qui produit toujours une décharge d'électricité. Néanmoins M. Berzelius ne se dissimule pas les difficultés que l'on rencontre en s'appuyant sur la théorie électro-chimique, pour expliquer l'inégalité de cohésion dans les différents corps ou dans le même corps, suivant diverses circonstances, ainsi que la dureté, la ductilité,

la ténacité et même l'état gazeux. Il avoue qu'il ne voit pas comment l'on pourrait expliquer tous ses effets, en s'appuyant sur l'électricité considérée comme force première et universelle.

Je me suis borné à donner ici un précis de la théorie électro-chimique, telle que l'a exposée M. Berzelius dans sa Chimie, mais j'y reviendrai quand je développerai cette théorie avec tous les faits qui ont été récemment découverts.

Cette théorie, comme celle de Davy, n'explique pas pourquoi les atomes restent accolés les uns aux autres dans les combinaisons, et en vertu de quelle force le contact est maintenu. C'est cette difficulté que M. Ampère a essayé de résoudre dans une lettre qu'il adressa à M. Vanbeck (1). Il admet que les atomes des corps possèdent chacun une électricité propre, qu'ils ne peuvent perdre sans cesser d'exister, et en vertu de laquelle ils restent unis dans les combinaisons, de la même manière que deux feuilles de papier, électrisées différemment, restent accolées l'une à l'autre. Mais comme des corpuscules électrisés ne pourraient rester sans exercer d'action sur les corps environnants, M. Ampère suppose que leur électricité réagit sur celle de l'espace, attire celle de non contraire et repousse l'autre, de manière à transformer les atomes en de véritables bouteilles de Leyde. Une combinaison a-t-elle lieu entre un corps électro-positif et un corps électro-négatif, les atomes se débarrassent de leurs atmosphères et restent unis l'un à l'autre, en vertu de l'attraction de leurs électricités contraires, propres à leur nature. Le contact n'est-il pas suivi d'une action chimique, les atmosphères se recombinent encore, mais, comme les atomes ne peuvent s'en passer, ils réagissent sur l'électricité de l'atmosphère, attirent celle de non contraire et repoussent l'autre, de manière à produire des phénomènes électri-

---

(1) Journ. de Phys., 1821.

ques inverses de ceux qui ont lieu dans les combinaisons. Cette théorie, quoique très-ingénieuse, présente des difficultés qui n'ont pas encore été toutes résolues. Elle ne montre pas, par exemple, comment deux corps qui sont électro-positifs par rapport à un troisième, peuvent se combiner ensemble. Il faudrait alors admettre qu'il n'existe qu'un seul fluide ou que les atomes possèdent de l'électricité naturelle outre leur électricité propre. Nous reviendrons sur cette théorie, quand nous exposerons les phénomènes électro-chimiques avec tous les développements qu'ils exigent.

§ XVIII. *De la lumière électrique et des phénomènes lumineux et calorifiques produits par de fortes piles; du pouvoir conducteur des métaux.*

Les physiciens ont repris la question de la lumière électrique. M. Biot (1) a avancé que sa production était due au passage rapide de l'électricité à travers l'air qui, étant fortement comprimé, s'échauffait et dégageait alors assez de chaleur pour qu'il y ait émission de lumière. Davy a examiné jusqu'à quel point cette opinion était fondée. On savait déja depuis long-temps que les couleurs de la lumière varient suivant la force de l'étincelle et la pression des gaz qu'elle traverse; que dans l'air condensé elle est blanche et brillante, dans l'air très-raréfié diffuse et d'une couleur rouge; que l'influence des différents gaz paraît proportionnée à leur densité, et que la couleur dépend aussi de la nature du corps dont on tire les étincelles, puisque des étincelles (2) tirées à travers des balles de bois ou d'ivoire ont une couleur cramoisie, celles que l'on tire de la surface d'un cuir argenté une teinte verte brillante.

(1) Annal. de Ch., t. LIII, p. 351 : Morgan. Philos. Trans., vol. LXXV, p. 188.

(2) Morgan's Lecture, p. 234.

Davy (1) a disposé un appareil dans lequel il a fait le vide sous le mercure, sous d'autres métaux en fusion et sous diverses dissolutions. Il a trouvé les résultats suivants : le vide mercuriel parfait est perméable à l'électricité et il devient lumineux soit par l'étincelle ordinaire, soit par le choc d'une bouteille de Leyde. Quand le tube est très-chaud, la lumière électrique se montre dans la vapeur avec une couleur verte vive et de grande intensité. A un froid artificiel de vingt degrés au-dessous de zéro du thermomètre de Fahrenheit, la lumière est excessivement faible. Pendant l'ébullition du mercure, la lumière a le plus grand éclat.

En introduisant dans le vide mercuriel diverses quantités d'air, la couleur passe successivement du vert au vert de mer, au bleu et au pourpre. Dans le vide fait sur l'alliage fusible de bismuth et d'étain, la lumière est jaune et de la phosphorescence la plus pâle. Davy en a tiré la conséquence que la lumière électrique dépend principalement de quelques propriétés qui appartiennent à la matière pondérable, à travers laquelle elle passe, et que l'espace où il n'y a pas de quantité appréciable de cette matière, est capable d'offrir les phénomènes lumineux; enfin, qu'il ne lui semblait pas improbable que les particules superficielles des corps qui, détachées par le pouvoir répulsif de la chaleur, forment la vapeur, pussent être également séparées par les forces électriques, et produire des apparences lumineuses dans le vide, privées de toute autre matière, par la destruction de leurs états électriques opposés.

Cette dernière opinion qui a servi de base à sa théorie électro-chimique, a été partagée par M. Berzelius qui, comme je l'ai dit, a avancé que le feu était produit dans les combinaisons chimiques, de la même manière que dans la décharge électrique.

---

(1) Sur les effets électriques dans le vide. Annal. de Ch. et de Phys., t. XX, p. 168.

J'ai déja indiqué les effets de chaleur que différents physiciens avaient produits avec la pile; mais ces effets ne sont rien, comparés à ceux que Davy a obtenus en 1813, avec la pile de l'Institution royale de Londres, composée de deux mille couples présentant une surface de 128,000 pouces carrés; ils peuvent jeter quelque jour sur la cause probable de l'incandescence perpétuelle du soleil. Davy ayant fait passer entre deux pointes de charbon placées à peu de distance l'une de l'autre, la décharge de cette énorme pile, il se produisit une lumière dont l'éclat était comparable à celle du soleil. Toutes les substances infusibles placées entre les deux pointes de charbon ne purent résister à une chaleur aussi forte et entrèrent en fusion. Tous ces effets ayant eu lieu également dans le vide, Davy ne put admettre, pour cause première de la chaleur et de la lumière, la combustion du charbon; il en tira la conséquence que l'une et l'autre devaient être attribuées à la réunion des deux électricités; cette expérience vint à l'appui de la théorie électro-chimique dont j'ai exposé précédemment les principales bases.

Je dois dire aussi que le rapprochement entre les effets lumineux et calorifiques de la pile avec la lumière du soleil est du à M. Arago.

A la même époque, M. Children faisait construire une pile d'une grandeur remarquable, dans laquelle chacun des éléments avait une surface de 32 pieds carrés. Des fils de platine qui avaient jusqu'à 2 lignes de diamètre furent rougis dans une certaine longueur et même fondus; les métaux et les oxides infusibles à la chaleur de nos fourneaux entrèrent en fusion. M. Children s'occupa de ces expériences remarquables à plusieurs reprises, mais particulièrement en 1813 et 1815.

L'ingénieux Wollaston, dont le nom rappelle toujours des expériences délicates faites sur une petite échelle, traita cette question d'une manière inverse; il fondit un fil très-fin de platine avec un seul couple voltaïque de la plus petite dimension. Cet appareil était

formé d'un dé à coudre en cuivre, dont il avait enlevé le fond et qu'il aplatit de manière à rapprocher les deux surfaces à une très-petite distance l'une de l'autre. Une petite lame de zinc fut placée entre les deux surfaces de cuivre sans les toucher. Il mit ensuite en communication la petite lame de zinc avec la surface extérieure, au moyen d'un fil excessivement fin de platine de $\frac{1}{3000}$ de pouce de diamètre, et en plongeant le couple dans l'eau légèrement, le fil rougit et fondit. Cette expérience et d'autres observations antérieures lui démontrèrent que, pour avoir les plus grands effets possibles de chaleur, il fallait augmenter dans chaque couple voltaïque la surface du cuivre relativement au zinc. Il construisit, d'après ce principe, une pile qui porte son nom et dont on fait usage toutes les fois que l'on veut produire des effets de chaleur et de lumière.

Brandt, en étudiant les effets de la lumière qui est produite entre deux points de charbon par l'action d'une forte pile, prouva que cette lumière, comme celle du soleil, produisait la combinaison du chlore et de l'hydrogène ainsi que la décomposition du chlorure d'argent. Cette identité d'action n'est pas sans importance pour la science depuis que l'on soupçonne une origine électrique dans les rayons solaires.

Depuis Franklin l'on savait que les métaux n'avaient pas tous le même pouvoir conducteur pour l'électricité. Priestley est le premier qui, comme je l'ai dit, ait essayé de ranger les métaux par ordre de conductibilité électrique. Il trouva que cet ordre était : or, argent, cuivre, laiton et fer. Davy (1) s'occupa de la même question en employant la pile. Le moyen dont il s'est servi, quoique peu exact, l'a cependant conduit à des faits généraux qui ont été reconnus exacts par d'autres procédés. Il prit des fils de différents métaux de même longueur et de diamètres égaux, et chercha combien

---

(1) Philos. Transac., 1821.

chacun d'eux déchargeait de plaques voltaïques suivant la méthode de Wollaston; il trouva qu'un fil d'argent de $\frac{1}{200}$ de pouce anglais de diamètre, et de 6 pouces de longueur, déchargeait 65 plaques; 6 pouces d'étain 12 paires; 6 pouces de platine 11 paires, et de fer 9. Il découvrit aussi que les fils métalliques avaient un pouvoir conducteur en raison inverse de leur longueur, et que l'effet d'un fil était proportionnel à sa masse. Ainsi 6 pouces de platine déchargent 10 doubles plaques; 3 pouces, 20, etc.; et 6 fils, ou un seul de même longueur, mais 6 fois plus pesant, produisent le même effet.

Pour s'assurer si un fil déchargeait entièrement une pile, Davy ajoutait deux autres conducteurs qui plongeaient dans l'eau et partaient chacun d'une des extrémités de la pile; quand il y avait effervescence, il en concluait que la pile n'était pas entièrement déchargée. Voici les valeurs relatives de la conductibilité de différents métaux par Davy :

Conductibilité d'après H. Davy.

Argent........	600	Étain..........	109
Cuivre........	550	Platine.........	200
Or............	400	Fer............	82
Plomb.........	380		

§ XIX. *Des poissons électriques.*

Aussitôt après les découvertes de Galvani et de Volta, l'attention des physiologistes et des physiciens se porta de nouveau sur les phénomènes que présentent les poissons électriques. L'on s'appliqua surtout à découvrir les organes générateurs du principe qui donne la commotion. Galvani, quoique affaibli par l'âge et par une maladie qui le conduisit au tombeau, se transporta sur les bords de la mer Adriatique en 1797, pour étudier l'anatomie de la torpille. Plusieurs observateurs, particulièrement Rédi et Lorenzini, s'étaient déja occupés

de cette question; d'autres avaient annoncé que les commotions étaient dues à l'électricité animale, explication qui flattait singulièrement Galvani. Ce dernier observa deux corps qui, suivant lui, étaient les organes électriques; ils étaient formés d'une grande quantité de prismes hexagones composés d'un nombre infini de plans de la même figure et combinés les uns avec les autres dans un ordre parfait; il observa, après avoir fait un grand nombre d'expériences, que ces prismes recevaient plus de nerfs que ne semblait l'exiger leur structure. Comme il avait déja été reconnu que le concours de la volonté de l'animal était indispensable pour donner la commotion, Galvani examina jusqu'à quel point le cerveau de la torpille influait sur l'action des organes électriques. Ses recherches le conduisirent à admettre que le système des nerfs qui sert à l'action des organes électriques diffère de celui que la nature emploie pour exciter les contractions musculaires : il en conclut alors que le cerveau contribuait à la production de l'électricité animale. Quels que soient les effets qui aient été tentés pour prouver que la commotion était le résultat de l'action de l'électricité animale, comme les faits s'expliquaient encore de la même manière dans la supposition où l'électricité était semblable à celle que nous connaissons, il en est résulté que la science y a toujours gagné des observations intéressantes sur l'anatomie et la physiologie des poissons électriques.

M. Geoffroy Saint-Hilaire (1) fit aussi un travail remarquable sur l'anatomie de ces poissons; après avoir comparé entre eux tous les organes électriques, il les rapporta à une constitution uniforme, et trouva en outre que ces organes consistaient dans un grand nombre de tubes aponévrotiques, rangés autour des branchies et remplis d'une substance particulière. Volta, aussitôt qu'il eut trouvé et analysé les phénomènes élec-

(1) Journ. de Phys., t. LVI, p. 241.

triques de contact, dans tous les corps, eut la pensée qu'à l'aide des corps, moins bons conducteurs que les métaux, on pourrait former, de même qu'avec ces derniers, un instrument assez actif pour produire des secousses et des étincelles (1). Il s'empressa aussitôt d'appliquer ce principe aux organes électriques de la torpille et du gymnote, composés de seuls conducteurs humides. Il regarda comme probable que les petites couches ou pellicules de ces organes, placées les unes sur les autres dans chaque colonne, étaient alternativement formées de conducteurs appartenant moitié à la deuxième classe, moitié à la troisième, et que chaque couple se trouvait séparée par une couche humide. Suivant cette théorie, la commotion que communique la torpille serait le résultat d'un effet mécanique et non instinctif.

M. de Humboldt, conjointement avec M. Bonpland, fit en Amérique des observations très-curieuses sur les habitudes et les moyens de pêcher le gymnote. On en pourra juger par le passage suivant, extrait textuellement de la relation de leur voyage :

« Nous partîmes, le 19 mars, de grand matin, pour « le petit village de Rastro de Abaxo; de là, les In- « diens nous conduisirent à un ruisseau qui, dans le « temps des sécheresses, forme un bassin d'eau bour- « beuse, entouré de beaux arbres, de clusia, d'amyris et « de mimoses à fleurs odoriférantes. La pêche des gym- « notes, avec des filets, est très-difficile, à cause de « l'extrême agilité de ces poissons, qui s'enfoncent dans « la vase comme des serpents. On ne voulut point em- « ployer le barbasco, c'est-à-dire les racines du *pisci- « dia erithryna*, du *jacquinia armillaris* et de quelques « espèces de *phyllanthus* qui, jetées dans une mare, « enivrent ou engourdissent les animaux : ce moyen au- « rait affaibli les gymnotes. Les Indiens nous disaient

(1) Annal. de Ch., t. XL, p. 255.

« qu'ils allaient pêcher avec des chevaux. Nous eûmes « de la peine à nous faire une idée de cette pêche « extraordinaire; mais bientôt nous vîmes nos guides « revenir de la savane, où ils avaient fait une battue « de chevaux et de mulets non domptés. Ils en amenè- « rent une trentaine qu'on força d'entrer dans la mare.

« Le bruit extraordinaire causé par le piétinement « des chevaux fait sortir les poissons de la vase et les « excite au combat. Ces anguilles jaunâtres et livides, « semblables à de grands serpents aquatiques, nagent « à la surface de l'eau, et se pressent sous le ventre des « chevaux et des mulets. Une lutte entre des animaux « d'une organisation si différente offre le spectacle le « plus pittoresque. Les Indiens, munis de harpons et de « roseaux longs et minces, ceignent étroitement la mare; « quelques-uns d'entre eux montent sur les arbres dont « les branches s'étendent horizontalement au-dessus de « la surface de l'eau. Par leurs cris sauvages et la lon- « gueur de leurs joncs, ils empêchent les chevaux de « se sauver en atteignant la rive du bassin. Les an- « guilles, étourdies du bruit, se défendent par la dé- « charge réitérée de leurs batteries électriques. Pendant « long-temps elles ont l'air de remporter la victoire. « Plusieurs chevaux succombent à la violence des coups « invisibles qu'ils reçoivent de toutes parts dans les or- « ganes les plus essentiels à la vie; étourdis par la force « et la fréquence des commotions, ils disparaissent sous « l'eau. D'autres, haletant, la crinière hérissée, les yeux « hagards, et exprimant l'angoisse, se relèvent et cher- « chent à fuir l'orage qui les surprend. Ils sont repoussés « par les Indiens au milieu de l'eau : cependant un petit « nombre parvient à tromper l'active vigilance des pê- « cheurs On les voit gagner la rive, broncher à chaque « pas, s'étendre dans le sable, excédés de fatigue et les « membres engourdis par les commotions électriques des « gymnotes.

« En moins de cinq minutes, deux chevaux étaient « noyés. L'anguille, ayant cinq pieds de long et se pres-

« sant contre le ventre des chevaux, fait une décharge « de toute l'étendue de son organe électrique. Elle atta- « que à la fois le cœur, les viscères et le *plexus cœliacus* « des nerfs abdominaux. Il est naturel que l'effet qu'é- « prouvent les chevaux soit plus puissant que celui que « le même poisson produit sur l'homme lorsqu'il ne le « touche que par une des extrémités. Les chevaux ne « sont probablement pas tués, mais simplement étour- « dis. Ils se noient, étant dans l'impossibilité de se relever « par la lutte prolongée entre les autres chevaux et les « gymnotes.

« Nous ne doutions pas que la pêche ne se terminât « par la mort successive des animaux qu'on y employait; « mais peu à peu l'impétuosité de ce combat inégal di- « minue; les gymnotes fatigués se dispersent. Ils ont « besoin d'un long repos et d'une nourriture abondante « pour réparer ce qu'ils ont perdu de force galvanique. « Les mulets et les chevaux parurent moins effrayés; ils « ne hérissaient plus la crinière; leurs yeux exprimaient « moins l'épouvante. Les gymnotes s'approchaient timi- « dement du bord des marais, où on les prit au moyen « de petits harpons attachés à de longues cordes. Lors- « que les cordes sont bien sèches, les Indiens, en sou- « levant le poisson dans l'air, ne ressentent point de « commotions. En peu de minutes, nous eûmes cinq « grandes anguilles, dont la plupart n'étaient que légè- « rement blessées. D'autres furent prises vers le soir par « les mêmes moyens.

« La température des eaux dans lesquelles vivent ha- « bituellement les gymnotes est de 26° à 27°. On assure « que leur force électrique diminue dans les eaux plus « froides; et il est assez remarquable, en général, comme « l'a déja observé un physicien célèbre, que les animaux « doués d'organes électromoteurs, dont les effets de- « viennent sensibles à l'homme, ne se rencontrent pas « dans l'air, mais dans un fluide conducteur de l'élec- « tricité. Le gymnote est le plus grand des poissons

« électriques; j'en ai mesuré qui avaient cinq pieds à « cinq pieds trois pouces de long. Les Indiens assuraient « en avoir vu de plus grands encore. Nous avons trouvé « qu'un poisson qui avait trois pieds dix pouces de long « pesait douze livres. Le diamètre transversal du corps « était (sans compter la nageoire anale, qui est prolon- « gée en forme de carène) de trois pouces cinq lignes. « Les gymnotes du Cano de Bera sont d'un beau vert « d'olive. Le dessous de la tête est jaune, mêlé de rouge. « Deux rangées de petites taches jaunes sont placées « symétriquement le long du dos, depuis la tête jusqu'au « bout de la queue. Chaque tache renferme une ouver- « ture excrétoire : aussi la peau de l'animal est constam- « ment couverte d'une matière muqueuse, qui, comme « Volta l'a prouvé, conduit l'électricité vingt à trente « fois mieux que l'eau pure. Il est, en général, assez « remarquable qu'aucun des poissons électriques, décou- « verts jusqu'ici dans les différentes parties du monde, « ne soit couvert d'écailles. »

MM. de Humboldt et de Bonpland n'ont pu découvrir aucun phénomène de lumière électrique ni aucune trace d'électricité libre. Je conçois parfaitement que l'on ne puisse reconnaître aucune trace d'électricité, attendu que la commotion paraît être le résultat d'un effet analogue à celui de la bouteille de Leyde, qui est le résultat d'un rétablissement d'équilibre.

MM. de Humboldt et Gay-Lussac, en 1802, firent quelques expériences, à Gênes, sur la torpille; ils se sont attachés particulièrement à déterminer les conditions dans lesquelles la torpille ne donne pas à l'homme la commotion. Ils trouvèrent que l'on ne commence à la sentir que lorsqu'on élève la torpille au-dessus de la surface de l'eau, et quand elle a lieu, elle remue d'une manière convulsive les pennes pectorales; qu'il faut l'irriter pour qu'elle lance sa commotion, car on la touche souvent impunément lorsqu'elle est tranquille. Ils observèrent de nouveau que l'électromètre le plus sensible

n'indiquait aucune tension électrique et qu'il était nécessaire de toucher immédiatement le corps de l'animal pour éprouver la commotion.

§ XX. *Théorie mathématique de l'électricité statique.*

En 1812, M. Poisson (1), en considérant chacun des deux principes électriques comme un fluide incompressible dont les particules, douées d'une parfaite mobilité, se repoussent mutuellement et attirent celles de l'autre principe, en raison réciproque du carré de la distance, et en admettant en outre, qu'à égale distance, le pouvoir attractif est égal au pouvoir répulsif, a cherché les conséquences mathématiques que l'on peut en tirer. Les résultats auxquels il a été conduit se sont trouvés parfaitement d'accord avec ceux que Coulomb avait obtenus par l'expérience. Le célèbre géomètre français a d'abord trouvé, comme l'expérience l'avait appris à Beccaria et à Coulomb, que tout le fluide électrique introduit dans un corps se porte entièrement à la surface où il forme une couche extrêmement mince. Il détermina ensuite la surface intérieure de cette couche, ainsi que son épaisseur; quant à la surface extérieure, elle se trouve être la même que celle du corps, puisque l'électricité n'y est retenue que par la pression de l'air. Aussi M. Poisson a-t-il considéré l'air comme un vase imperméable de forme donnée, qui contient le fluide dans sa capacité intérieure et résiste par la pression à la tendance qu'il a de s'échapper. La surface intérieure de cette couche se trouvant peu différente de l'autre, puisqu'elle est très-mince, pour en déterminer la forme et l'épaisseur, qui n'est pas la même sur toutes les parties de la surface, M. Poisson établit

---

(1) Mémoire de l'Acad. des Sc. de l'Institut de France. 1er Mémoire sur la distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs, t. XII, p. 1. — 2e Mémoire, p. 163, 1811.
Voir le précis que M. Biot a donné de ces deux Mémoires, dans son Traité de Physique.

dans ses calculs la condition que le corps ne peut demeurer dans un état électrique permanent, qu'autant que la forme de la surface est telle que la couche entière n'exerce ni attraction ni répulsion sur les points qui se trouvent dans sa cavité. Quand le corps est une sphère, les deux surfaces de la couche électrique sont également sphériques. Si l'on considère un ellipsoïde, la surface intérieure de la couche se trouve être également un ellipsoïde concentrique et semblable. Son épaisseur est la plus grande au sommet du plus grand axe et la moindre au sommet du plus petit; il en résulte que les épaisseurs aux deux sommets sont en raison des longueurs des axes.

On sait que l'électricité n'est retenue sur la surface des corps que par la pression de l'air ambiant, et que cette pression n'est pas la même en tous les points. M. Poisson l'a déterminée par le calcul. A l'extrémité d'un cône, elle deviendrait infinie si l'électricité pouvait s'y accumuler.

Sur un ellipsoïde allongé de révolution, elle est d'autant plus considérable aux deux pôles, que l'axe qui les joint est plus grand par rapport au diamètre de l'équateur; l'une et l'autre sont dans le rapport du carré de l'axe des pôles au carré du diamètre de l'équateur. Il résulte de là que si l'ellipsoïde est très-allongé, la pression électrique est très-faible à l'équateur, tandis qu'aux pôles elle peut acquérir une intensité suffisante pour vaincre la résistance de l'air; c'est précisément ce qui arrive dans une barre métallique qui a la forme du corps dont il est ici question, car l'expérience prouve que tout fluide électrique se porte, en grande partie, vers les extrémités, d'où il s'échappe quand sa tension est suffisante.

M. Poisson s'est occupé ensuite d'un cas plus composé. C'est celui où plusieurs corps électrisés et conducteurs sont placés à des distances telles qu'ils peuvent exercer des actions par influence les uns sur les autres. Dans ce cas, la distribution de l'électricité sur ces corps

est soumise à une condition mathématique dont voici l'énoncé :

« Si plusieurs corps conducteurs électrisés sont mis « en présence les uns des autres, et qu'ils parviennent « à un état électrique permanent, il faudra, dans cet « état, que la résultante des actions des couches élec- « triques qui les recouvrent, sur un point quelconque « pris dans l'intérieur d'un de ces corps, soit nulle. Car « si cette résultante n'était pas nulle, l'électricité com- « binée qui réside au point que l'on considère, serait « décomposée, et l'état électrique changerait contre la « supposition que l'on a faite de sa permanence. »

En soumettant ce principe au calcul, M. Poisson en a déduit autant d'équations que l'on considère de corps et que le problême renferme d'inconnues. Il est parvenu à résoudre les équations pour le cas où deux sphères chargées d'électricité quelconque sont mises en contact ou en présence l'une de l'autre. Il a déduit de ses formules des résultats absolument semblables à ceux que Coulomb avait trouvés par l'expérience, dans les mêmes circonstances; par exemple, lorsque deux sphères, d'inégal diamètre, étant mises en contact et électrisées ensuite, si on les écarte successivement l'une de l'autre en les maintenant isolées, l'état électrique de chacune d'elles éprouve des variations singulières que le calcul a déterminées avec une grande précision : à l'instant du contact, les deux sphères sont électrisées de la même manière; mais au point de contact même il n'existe pas d'électricité libre. Maintenant, si l'on sépare les deux sphères, il n'en est plus de même; l'électricité de la petite sphère est décomposée, en raison de l'action par influence de la seconde sphère : celle qui est de nature contraire à celle de la grande se porte vers le point où le contact avait eu lieu avant. Cet effet diminue à mesure que l'on écarte les deux sphères et disparaît à une certaine distance. Alors l'ancien point de contact sur la petite sphère se retrouve dans l'état naturel; à une plus grande distance encore, ce point reprend la même espèce

d'électricité que celle qui est propre à la sphère dont il fait partie. Tous ces effets sont pleinement confirmés par l'expérience. Cet exemple suffit pour montrer avec quelle précision toutes les formules de M. Poisson représentent les phénomènes relatifs à l'électricité statique, qui ont pu être soumis au calcul, et quel degré de confiance on peut y attacher.



CHAPITRE SECOND.

RECHERCHES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE.

§ I. *De l'équateur magnétique, et des courbes sans déclinaison.*

Il faut trois éléments pour déterminer la force magnétique du globe, en chaque point de sa surface, l'inclinaison, la déclinaison et le nombre d'oscillations de l'aiguille aimantée; l'inclinaison et la déclinaison donnent la direction de cette force, le nombre d'oscillations, son intensité. Les premières tentatives qui furent faites, pour observer simultanément ces trois éléments, sont dues à Halley, auquel le gouvernement anglais confia un vaisseau, à cet effet, vers 1700; mais les résultats qu'il rapporta de son voyage, ainsi que ceux de la plupart des autres observateurs qui vinrent après lui, manquaient d'ensemble, parce que les aiguilles aimantées dont ils firent usage n'étaient pas semblables et n'avaient pas même été comparées les unes aux autres; aussi trouvèrent-ils des différences dont ils ne purent rendre compte. Depuis trente ans, des expéditions ont sillonné le globe dans toutes les directions, munies d'instruments comparables, et en ont rapporté une foule de documents précieux pour l'étude du magnétisme sur le globe.

Les observateurs s'occupent depuis long-temps de déterminer la position de l'équateur magnétique, c'est-à-dire de la courbe formée de tous les points où l'inclinaison est nulle. On crut d'abord que cette courbe était un grand cercle dont le plan incliné d'environ 12 degrés surcelui de l'équateur coupait celui-ci en deux points ou nœuds, dont l'un, le plus occidental, était situé vers 115° 34′ de longitude à l'occident

de Paris, dans la mer du Sud, et le nœud opposé à 295° 34′ de longitude également occidentale. Mais M. Biot (1), en discutant les observations de Williams Bayly et de Cook, faites sur deux bâtiments différents qui voyageaient ensemble en 1777 dans la mer du Sud, démontra que ces éléments étaient en défaut, dans toutes les parties de cette mer situées au-delà du nœud occidental entre 115° et 270°. Il résulte de ce travail, qu'entre 256° de longitude occidentale et 158° 50′ de longitude également occidentale, l'équateur magnétique coupe encore une fois au moins l'équateur terrestre, ce qui exige qu'il le rencontre une autre fois, près des côtes orientales de l'Afrique, attendu que, dans l'océan Atlantique, on le retrouve avec une latitude australe. D'après cela, il y aurait donc au moins trois nœuds et peut-être quatre. Je dois ajouter que M. Freycinet, dans son Voyage autour du monde dont il sera question plus loin, a constaté l'inflexion singulière de l'équateur magnétique dans la mer du Sud, qui se déduit également des observations de Cook. C'est en discutant tous les résultats, que l'on pourra voir si cette inflexion a toujours la même étendue et si elle change de place.

M. Morlet (2), au moyen d'une méthode particulière d'interpolation, détermina avec exactitude la position de ces nœuds ainsi que la vraie forme de l'équateur magnétique. Il y est parvenu, non pas au moyen des observations dans les lieux où l'inclinaison est nulle, mais par une discussion suivie des observations faites en des points où l'inclinaison est fort petite. La loi qu'il a établie, représentant tous les phénomènes, peut être considérée comme exacte; au surplus, il en a vérifié l'exactitude par deux méthodes différentes.

M. Hanstéen s'est occupé également de la détermina-

(1) Précis élémentaire de Physique; Biot, 2e édit., vol. II, p. 83.

(2) Mémoires des Savants étrangers de l'Institut de France, t. IV, p. 697.

tion de l'équateur magnétique; en partant, comme M. Morlet, des observations de 1780, les résultats auxquels il est parvenu présentent dans quelques points de légères différences avec ceux qui ont été obtenus par ce dernier physicien. M. Arago les a comparés de la manière suivante (1): L'un et l'autre physicien placent l'équateur magnétique en totalité au sud de l'équateur terrestre, entre l'Afrique et l'Amérique. Le plus grand écartement de ces courbes correspond à environ 25° de longitude occidentale : il est de 13 ou 14° dans la carte de M. Hansteen. On trouve un nœud en Afrique par 22° de longitude orientale. M. Morlet le place 4° plus à l'occident.

Suivant l'un et l'autre, si l'on part de ce nœud, en s'avançant du côté de la mer des Indes, la ligne sans inclinaison s'éloigne rapidement vers le nord de l'équateur magnétique, sort de l'Afrique un peu au sud du cap Guardafui et parvient dans la mer d'Arabie à son maximum d'excursions boréales (environ 12°) par 62° de longitude orientale. Entre ce méridien et le 174° de longitude, l'équateur magnétique se maintient constamment dans l'hémisphère boréal. La ligne coupe la presqu'île de l'Inde, un peu au nord du cap Comorin; traverse le golfe du Bengale, en se rapprochant légèrement de l'équateur terrestre, dont elle n'est éloignée que de 8°, à l'entrée du golfe de Siam; remonte ensuite un tant soit peu au nord; est presque tangente à la pointe septentrionale de Bornéo, traverse l'île Paragua, le détroit qui sépare la plus méridionale des Philippines de l'île Mindanao, et sous le méridien de Waigiou se trouve de nouveau placée à 9° de latitude nord. De là, après avoir passé dans l'archipel des Carolines, l'équateur magnétique descend rapidement vers l'équateur terrestre, et le coupe, d'après M. Morlet, par 174°, et suivant M. Hansteen, par 187° de longitude orientale. Il y a beaucoup moins d'incertitude sur la position d'un second nœud, situé aussi dans l'océan Pacifique : sa lon-

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. xxx, p. 348.

gitude occidentale doit être de 120° environ. Mais tandis que les recherches de M. Morlet l'ont conduit à admettre que l'équateur magnétique, après avoir seulement touché l'équateur terrestre, s'infléchit aussitôt vers le sud, M. Hansteen suppose que cette courbe passe dans l'hémisphère nord, sur une étendue d'environ 15° de longitude, revient ensuite couper de nouveau la ligne équinoxiale à 23° de distance de la côte occidentale d'Amérique. Du reste, pour qu'on ne s'exagère point cette discordance, nous devons dire que, dans son excursion boréale, la courbe sans inclinaison de M. Hansteen ne s'éloigne pas de l'équateur terrestre de plus d'un degré et demi, et qu'en définitive cette ligne et celle de M. Morlet ne sont nulle part à deux degrés de distance l'une de l'autre dans le sens des cercles de latitude.

Il paraît que l'équateur magnétique a un mouvement de translation, d'année en année, de l'est à l'ouest, autant que l'on peut en juger par les observations directes des nœuds. Les deux nœuds de M. Hansteen et le nœud tangent de M. Morlet, dans la mer du Sud, se trouvent situés entre le 108° et le 126° de longitude occidentale. M. Freycinet a trouvé en 1819, à bord de *l'Uranie*, que ce nœud était placé vers le 132e degré de longitude. Suivant le capitaine Sabine, comme on peut le voir dans son ouvrage publié par ordre du Bureau des longitudes de Londres, le point d'intersection des deux équateurs, qui était situé dans l'intérieur des terres, et assez loin des côtes en 1780, s'est avancé d'orient en occident jusque dans l'océan Atlantique.

M. Morlet avait indiqué ce mouvement de translation de l'équateur, mais avec une certaine défiance, parce que les mesures d'inclinaison n'avaient pas été obtenues en changeant les pôles de l'aiguille. Il a avancé aussi comme très-probable que la forme et la position de la ligne sans inclinaison règlent, d'un pôle à l'autre, le sens dans lequel doivent avoir lieu, dans chaque point du globe, les variations annuelles de l'aiguille aimantée. En appelant latitude magnétique d'un point, la distance

de ce point à la ligne sans inclinaison, mesurée sur le méridien magnétique considéré comme un grand cercle, il a trouvé que l'inclinaison de l'aiguille diminue là où le mouvement de translation de l'équateur tend à diminuer la latitude magnétique, et qu'elle augmente au contraire partout où la latitude magnétique s'agrandit. Nous aurons l'occasion plus loin de montrer que cette conjecture se trouve confirmée par des observations postérieures.

J'ai déja dit que l'inclinaison augmente de chaque côté de l'équateur à mesure que l'on s'en éloigne, avec cette différence cependant que, dans l'hémisphère austral, c'est le pôle boréal qui plonge au-dessous de l'horizon, tandis que c'est le contraire dans l'autre hémisphère. On a cherché ce qui arriverait si l'on se bornait à la partie du globe pour laquelle l'équateur magnétique est à peu près circulaire, ce qui comprend l'Europe, l'océan Atlantique et la côte orientale du nouveau continent (1). On a trouvé que l'inclinaison restait à peu près constante sur les parallèles situés à égale distance de cet équateur, ce qui semblerait indiquer, en supposant que cette loi se continuât, que le maximum d'inclinaison eût lieu dans deux points opposés de la terre, dont l'un, situé vers le nord, se trouverait à environ 25° de longitude occidentale et 76° de latitude boréale, et l'autre, diamétralement opposé, à 205° de longitude occidentale et 76° de latitude sud. Ces points seraient les pôles de l'équateur magnétique, si toutefois cet équateur était circulaire. Dans ces points, les aiguilles d'inclinaison devraient s'y tenir dans une direction verticale. Mais il n'en est pas ainsi, autant que l'on peut en juger d'après les observations faites, en 1818, dans les mers du Nord, par les Anglais, qui se sont avancés à 63° de longitude sur le parallèle de 75°. Ils ont trouvé, à la vérité, des inclinaisons considérables qui surpassaient 84°, et des

(1) Précis élémentaire de Physique; Biot, 2e édit., vol. II, p. 85.

déclinaisons occidentales qui allaient jusqu'à 87°. Le véritable pôle magnétique serait donc encore, dans l'hypothèse adoptée, plus occidental que ne le supposent les inductions précédentes.

MM. Biot et de Humboldt (1), dans un Mémoire sur les variations du magnétisme terrestre, ont cherché à déterminer par le calcul où devaient être placés les points d'application de la résultante des forces qui produisent les inclinaisons. Ils ont trouvé qu'il fallait admettre, pour qu'il y ait un accord assez rapproché entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience, qu'il y eût au centre de la terre un aimant dont les pôles fussent très-rapprochés de ce centre (2).

Mayer, le célèbre astronome, était parvenu à la même conséquence, en discutant les inclinaisons connues de son temps. Cette hypothèse de deux centres magnétiques donnant pour l'équateur magnétique un grand cercle, ce qui ne s'accorde pas avec les observations des navigateurs, MM. Biot et de Humboldt ont été obligés de supposer, pour expliquer les écarts produits en vertu de l'inflexion, qu'il existait, vers les archipels de la mer du Sud, un centre particulier de forces magnétiques dont l'action se joignait à celle des deux autres. En suivant cette marche, on serait obligé de supposer encore l'existence de centres d'action, dans d'autres parties où l'on rencontrerait des inflexions qui ne rentreraient pas dans la loi générale. Ce grand nombre de pôles magnétiques exige que l'on s'applique à déterminer avec soin les éléments numériques de la force magnétique du globe en différents points de sa surface.

La théorie que je viens d'exposer satisfaisait alors aux besoins de la science. Au surplus, ce que l'on peut demander dans une question de cette nature, c'est d'établir des lois empiriques, qui embrassent le plus grand

---

(1) Journ. de Phys., t. LIX, p. 429.
(2) Précis élémentaires de Physique; Biot, IIe vol.

nombre de faits possibles, et de les modifier successivement à mesure que l'expérience fournit de nouvelles données.

Les navigateurs ont cherché aussi à déterminer les lignes sans déclinaison. Ils ont reconnu qu'elles suivaient des directions obliques par rapport aux méridiens magnétiques et présentaient des inflexions très-irrégulières. D'après des observations assez récentes, on a trouvé qu'il existait une ligne sans déclinaison dans l'océan Atlantique entre l'ancien et le nouveau monde, laquelle coupait le méridien de Paris vers une latitude australe d'environ 65 degrés; qu'elle remontait de là au nord-ouest jusqu'au 35e degré de longitude, après quoi elle devenait presque nord-sud, et longeait les côtes du Brésil. Cette ligne s'est déplacée considérablement de l'est à l'ouest depuis environ un siècle et demi. Ce déplacement ne s'est point fait uniformément.

Il existe encore une autre bande sans déclinaison opposée à la première, qui se partage en deux près du grand Archipel; la nouvelle branche se dirige du sud au nord et ressort dans la partie orientale de la Sibérie. Ces deux branches ou ne se déplacent point ou se meuvent avec lenteur, car il paraît que la déclinaison n'a pas sensiblement varié à la Nouvelle-Hollande depuis environ 150 ans.

Cook a observé aussi une quatrième ligne sans déclinaison vers le point de la plus grande inflexion magnétique, mais elle n'a pas été suivie dans le nord, de sorte que l'on ne connaît pas son cours. Les navigateurs ont cherché aussi la série des points où la déclinaison était la plus grande. Cook a trouvé une ligne de ce genre dans l'hémisphère austral à 60° 49′ de latitude et 93° 45′ de longitude occidentale comptées du méridien de Paris. Dans l'autre hémisphère, on a trouvé, comme je l'ai déja dit, des déclinaisons qui vont jusqu'à près de 90°. Dans les contrées où l'inclinaison est considérable, la force directrice horizontale doit être nécessairement très-faible; aussi les masses de fer qui se trouvent sur

les vaisseaux ou le voisinage des mines de fer exercent-elles une influence marquée sur l'aiguille aimantée. On a attribué à cette cause les variations singulières que l'on a trouvées dans sa marche auprès des pôles.

On a observé à Londres que l'inclinaison éprouvait également des variations diurnes, mais moins grandes que la déclinaison. D'après les expériences qui ont été faites au cap de Bonne-Espérance, depuis 1751 jusqu'en 1792, il y a eu un accroissement progressif de 5° dans l'inclinaison.

§ II. *De l'intensité des forces magnétiques du globe.*

Pour réunir tous les éléments relatifs au magnétisme terrestre, il faut déterminer l'intensité des forces magnétiques en différents points du globe. Les premières observations précises que nous ayons sur ce sujet important sont dues à M. de Humboldt, dans son grand voyage, et à M. de Rossel, dans l'expédition de l'amiral d'Entrecasteaux. Le capitaine Freycinet a recueilli aussi, dans son voyage autour du monde, des documents précieux sur cette question, ainsi que plusieurs expéditions anglaises envoyées vers les pôles; mais on doit à MM. de Humboldt et de Rossel la découverte du fait important que l'intensité magnétique va en augmentant de l'équateur magnétique vers les pôles.

M. de Humboldt (1) s'attacha particulièrement dans ses observations magnétiques à déterminer la loi suivant laquelle varie l'intensité des forces magnétiques, à diverses latitudes. Il découvrit, en se rendant au haut Orénoque et au Rio-Negro, pendant l'été de 1800, que cette intensité allait en croissant des basses latitudes aux pôles. Ainsi, la même aiguille de déclinaison qui avait donné, en 10 minutes, à Paris, 245 oscillations, n'en donnait plus que 229

---

(1) Voyage de Humbolt et Bonpland, 1re partie; Relation historique, t. III, p. 615.

à Cumana (lat. 10° 28′ bor.) et 216 à San-Carlos-del-Rio-Negro (lat. 1° 53′ bor.), et sous l'équateur magnétique 211. Cette observation sous l'équateur eut lieu en septembre 1802, et un mois plus tard, il vit de nouveau l'intensité augmenter dans l'hémisphère méridional, en s'éloignant de l'équateur magnétique.

M. de Humboldt, en publiant cette loi (1) de l'accroissement magnétique vers les deux pôles, montra aussi comment les forces varient régulièrement par zones.

La grande intensité des forces observée à Carthagène des Indes, à la Havane et au Mexique, prouve que la diminution des observations, sous l'équateur magnétique, ne peut être attribuée à un affaiblissement dans le magnétisme de la boussole. Au surplus, M. de Humboldt s'est assuré, d'une manière indirecte, que le magnétisme de l'aiguille n'avait pas changé; il a fait osciller son aiguille dans le méridien magnétique et dans le plan rectangulaire; l'inclinaison qu'il a déduite du calcul, au moyen de ces deux observations, s'est trouvée la même que celle qu'il avait obtenue directement par l'expérience.

En comparant la grandeur de l'intensité exprimée par 240 oscillations à Carthagène des Indes (lat. bor. 10° 25′) en avril 1800, à celle représentée par 241 à Madrid (lat. bor. 40° 15′), ce célèbre voyageur a découvert un autre fait très-important pour la théorie du magnétisme terrestre; c'est le défaut de parallélisme des lignes isodynamiques et d'égale inclinaison. A Madrid, l'inclinaison était, en octobre 1798, de 77° 62′, et à Carthagène des Indes, peu de temps après, de 39° 35′.

Les faits importants que je viens d'indiquer ont été confirmés, dans ces dernières années, par les nombreuses observations faites dans les expéditions anglaises aux régions polaires, et dans les voyages autour du monde par les navigateurs français.

---

(1) Journ. de Phys., t. LXIX, p. 433.

Sous le 7° de latitude australe et le 81° de longitude à l'ouest du méridien de Paris, M. de Humboldt a trouvé le nœud de la courbe sans déclinaison avec la courbe isodynamique du minimum des forces. Il a poursuivi ensuite cette dernière courbe à l'ouest de la Cordillère des Andes, dans le littoral du Pérou, vers Casma et Huarmay, jusqu'au 10° de latitude australe.

§ III. *Des variations diurnes de l'aiguille aimantée.*

Depuis 1722, époque où l'on a découvert les variations diurnes de l'aiguille aimantée, on a fait de nombreuses recherches pour remonter à la cause de ce phénomène. Nous avons déja vu qu'en Europe l'extrémité boréale marche tous les jours de l'est à l'ouest, depuis le lever du soleil, jusque vers une heure après midi, et retourne ensuite vers l'est, et que l'étendue de ces variations journalières est plus grande en été qu'en hiver. Mais la position géographique du lieu où l'on observe exerce-t-elle une influence sur ce phénomène? Est-il moins marqué près de l'équateur terrestre que dans nos climats, comme on l'a avancé? M. Arago (1) a discuté ces deux questions ainsi que les résultats relatifs aux variations diurnes de l'aiguille aimantée, avec la rare sagacité qu'on lui connaît. Il s'occupe aussi de recherches suivies touchant l'influence que le magnétisme terrestre exerce sur l'aiguille aimantée, et on a tout lieu d'espérer qu'il parviendra à découvrir quelques-unes des lois relatives à ce genre de phénomène.

Je vais rapporter, d'après lui, ce que nous savons sur les rapports qui existent entre les causes de l'aurore boréale et celles du magnétisme.

L'apparition d'une aurore boréale fait varier l'aiguille aimantée de plusieurs degrés de l'est à l'ouest.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. v, p. 119.

Dans la région où elle se montre, on voit des rayons lumineux, diversement colorés, jaillir de tous les points de l'horizon. Le point du ciel *où tous les rayons se réunissent, est précisément celui vers lequel se dirige une aiguille aimantée, suspendue par son centre de gravité.* Il a été reconnu de plus que les cercles concentriques qui se montrent presque toujours avant les jets lumineux, reposent chacun sur deux parties de l'horizon également éloignées du méridien magnétique *et que les points les plus élevés de chaque arc sont exactement dans ce méridien.* Ces deux faits remarquables prouvent donc qu'il existe une relation entre les causes de l'aurore boréale et celles de l'aiguille aimantée.

D'après les observations qui ont été faites en différents points assez éloignés, il est prouvé que l'aurore boréale agit avant de se montrer sur l'horizon et que son influence s'exerce à des distances considérables.

Les variations diurnes ne sont pas les mêmes d'un jour à l'autre. L'imperfection des instruments est une des causes qui se sont opposées au peu de progrès de leurs lois sur différents points du globe.

M. Arago (1) a discuté également toutes les observations relatives aux variations annuelles de l'aiguille aimantée et à son mouvement rétrograde.

Les plus anciennes observations prouvent que l'inclinaison a varié en Europe et par un mouvement dirigé dans le même sens. A Paris, en 1580, l'extrémité N. de l'aiguille déviait à l'E. de 11° 30′; en 1664, elle était dans le méridien; depuis, la déclinaison est devenue occidentale, et, en 1817, elle était de 22° 20′. Le ralentissement qu'on avait remarqué, il y a quelques années, dans son mouvement vers l'O., avait fait supposer que le mouvement rétrograde aurait probablement lieu.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XVI, p. 54. Arago.

M. le colonel Beaufoy, en Angleterre, a confirmé cette conjecture, en annonçant que l'aiguille était parvenue, en mars 1819, à la limite de sa plus grande amplitude occidentale et commençait à marcher vers l'E.

L'aiguille aimantée, outre les variations dont nous avons déja parlé, est soumise aussi à des oscillations annuelles, découvertes par M. Cassini, et qui paraissent se rattacher aux positions du soleil par rapport aux équinoxes et aux solstices (1).

« Dans l'intervalle du mois de janvier au mois d'a-
« vril, l'aiguille aimantée s'éloigne du pôle nord, en
« sorte que la déclinaison occidentale augmente.

« A partir du mois d'avril, et jusqu'au commencement
« de juillet, c'est-à-dire durant tout le temps qui s'é-
« coule entre l'équinoxe de printemps et le solstice d'été,
« la déclinaison diminue.

« Après le solstice d'été et jusqu'à l'équinoxe du prin-
« temps suivant, l'aiguille reprend son chemin vers
« l'ouest, de manière qu'en octobre elle se retrouve, à
« fort peu près, dans la même direction qu'en mai :
« entre octobre et mars, le mouvement occidental est
« plus petit que dans les trois mois précédents.

« Il résulte de là que pendant les trois mois qui se sont
« écoulés entre l'équinoxe du printemps et le solstice
« d'été, l'aiguille a rétrogradé vers l'E, et que dans les
« neuf mois suivants, sa marche générale, au con-
« traire, s'est dirigée vers l'O. »

M. Arago, voulant discuter les observations faites dans divers lieux, a pris la déclinaison moyenne de chaque jour, qui est la demi-somme des deux déclinaisons maximum et minimum, et la déclinaison moyenne de chaque mois, qui est la somme des moyennes de tous les jours du mois, divisée par le nombre de ces jours. Il a placé dans un tableau les déclinaisons moyennes à Paris pour chaque mois, depuis 1784 jusqu'à

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XVI, p. 60 et suiv.

1788, et dans un autre, les déclinaisons moyennes à Londres, dans les environs des équinoxes et des solstices depuis 1793 jusqu'en 1805, calculées d'après les observations de M. Gilpin. En comparant tous ces résultats, on trouve un maximum de déclinaison vers l'équinoxe du printemps et un minimum au solstice d'été, mais avec cette différence que l'amplitude de l'oscillation a été moindre à Londres qu'à Paris.

M. Arago, en comparant les observations de M. Cassini, à l'époque de 1786, avec celles de 1800, correspondantes aux mesures de M. Gilpin, a trouvé qu'elles ne différaient l'une de l'autre, sous le rapport du magnétisme, qu'en un seul point. En 1786, le changement annuel de déclinaison était de 9'; ce changement, en 1800, était à peine d'une minute. « D'après cela, il est digne « de remarque, ajoute-t-il, que le mouvement rétrograde « qu'éprouve l'aiguille entre l'équinoxe du printemps et « le solstice d'été, se soit affaibli en même temps que le « mouvement général et annuel vers l'O. »

Dans le même travail, M. Arago donne le tableau des déclinaisons moyennes déterminées à Salem, aux États-Unis, en 1810, par M. Bowditch. Dans cette localité, la déclinaison est occidentale, et diminue, depuis un grand nombre d'années, graduellement d'environ deux minutes par an. En examinant ces résultats, on n'y trouve aucune trace de la période de M. Cassini. La déclinaison n'a pas diminué entre l'équinoxe du printemps et le solstice d'été; elle s'est graduellement accrue depuis avril jusqu'en août. On remarque, par compensation, une diminution de cet angle entre septembre et décembre; il semblerait donc que la période s'est transportée du printemps en automne. Si cette conjecture se confirmait, les oscillations annuelles, suivant M. Arago, seraient réglées par les principes suivants :

« 1° Quand l'aiguille, la déclinaison étant occiden-« tale, s'éloigne du méridien, elle éprouve un mouve-« ment rétrograde qui la rapproche de ce plan. C'est « la découverte de M. Cassini.

« 2° Cette oscillation rétrograde est d'autant plus « étendue que le changement annuel de déclinaison est « plus grand (cette conséquence résulte de la comparaison « des observations de M. Cassini avec celles de M. Gilpin).

« 3° L'oscillation disparaît et tous les mois donnent « à peu près la même déclinaison moyenne quand, l'ai- « guille étant parvenue à la limite de sa digression oc- « cidentale, le changement annuel de déclinaison est nul. « Ceci résulte des observations de M. Beaufoy.

« 4° Enfin, lorsque la déclinaison occidentale diminue « d'année en année, on n'observe plus d'oscillations re- « marquables de l'aiguille vers l'E., qu'entre les mois « de septembre et de décembre. Observation de « M. Bowditch. »

En 1794, 95 et 96, John Magdonald avait fait, au fort de Marlborough de Sumatra et à Sainte-Hélène, deux séries d'observations de variations diurnes de l'aiguille aimantée, qui ont été insérées dans les Transactions philosophiques. Depuis cette époque, les navigateurs qui ont parcouru les régions équinoxiales, ne paraissent pas avoir fait aucune observation sur ce phénomène. Dans son voyage autour du monde, sur la corvette *l'Uranie* (1), dans les années 1817, 1818, 1819 et 1820, le capitaine Freycinet s'est occupé de ce genre de recherches. Suivant Magdonald, les variations diurnes entre les tropiques sont sensiblement moindres qu'en Europe, et aux mêmes heures où dans nos climats l'extrémité N. de l'aiguille marche à l'O., le mouvement au fort Marlborough et à Sainte-Hélène, qui sont situés au-dessous de l'équateur, s'exécute, au contraire, vers l'E. M. Freycinet a été conduit à des résultats analogues par des observations faites à l'île de France, à Timor, à Rawak, à Guham, à Mowi, au port Jackson et d'autres localités. Aux îles Mariannes et aux îles Sandwich, qui se trouvent dans l'hémisphère boréal, la pointe N.

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. XVI, p. 400.

de l'aiguille marche vers l'O., comme en Europe, depuis huit heures du matin jusqu'à une heure après-midi, quoique la déclinaison y soit orientale. Aux stations de Timor, de Rawak et du port Jackson, au S. de l'équateur, la pointe N. de l'aiguille marche pendant toute la matinée en sens opposé. Il résulte de là que les observations faites au N. de la ligne concordent avec celles d'Europe, tandis que celles de l'hémisphère austral présentent, comme celles de Magdonald, un mouvement diamétralement opposé. J'ajouterai que M. Freycinet a trouvé comme Magdonald, que les oscillations diurnes ont peu d'étendue entre les tropiques. Puisqu'au nord de l'équateur la variation diurne du matin est occidentale, et qu'au sud elle est orientale, elle doit être nulle sur l'équateur même; mais M. Freycinet, ayant trouvé que l'aiguille oscillait tous les jours dans un arc de 3′ à Rawak, dont la latitude sud est à peine de $\frac{1}{40}$ de degré, il semblerait résulter de là, comme l'observe M. Arago, que ce n'est point l'équateur terrestre, mais bien l'équateur magnétique qui sépare la zone des variations occidentales de la zone des variations contraires.

MM. Gay-Lussac et de Humboldt (1), du 15 mars 1805 au 1er mai 1806, ont fait un grand nombre d'expériences sur l'aiguille aimantée en France, en Suisse, en Italie et en Allemagne. Ils avaient annoncé qu'ils étaient parvenus à prouver, par des moyens très-précis, que l'intensité de la force magnétique ne varie pas sensiblement le jour et la nuit et qu'elle n'est pas influencée par la haute chaîne des Alpes; mais quinze ans après, M. Hansteen (2), professeur à Chistiania, publia un Mémoire dans lequel il s'attacha à prouver que l'intensité du magnétisme terrestre est sujette, comme la déclinaison, à des variations diurnes et annuelles, et

(1) Mém. de Phys. et de Ch. de la Soc. d'Arcueil, t. 1er.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XVII, p. 326; Journ. Philos., 1811, n° 8, p. 195.

que l'inclinaison présente de semblables variations; de plus, qu'il n'existe point de corps dans nos climats, quelle que soit leur nature, qui, placés verticalement, ne possèdent à leurs extrémités des pôles magnétiques très-prononcés.

Quant aux variations de l'intensité, voici leur marche, suivant M. Hansteen : Elles sont généralement décroissantes le matin, jusque vers onze heures; elles augmentent jusque vers quatre heures du soir en hiver, et six ou huit heures en été. Son minimum absolu a lieu en hiver et son maximum en été.

L'action magnétique du globe s'étend aussi dans l'espace, comme MM. Gay-Lussac et Biot l'ont constaté dans leur voyage aérostatique (1). Ils ont trouvé qu'elle décroît très-lentement à mesure qu'on s'éloigne de la terre, car, ayant fait osciller la même aiguille à terre et à une hauteur de 3600 toises, ils n'ont trouvé que des différences presque insensibles dans le nombre des oscillations pendant le même temps. Il est probable que la diminution suit aussi la loi inverse du carré de la distance, comme les attractions magnétiques. Il y a quelques probabilités à supposer (2) que les astres, la lune et le soleil, etc., sont doués aussi de la puissance magnétique. S'il en est ainsi, leur action doit réagir sur nos aiguilles, en raison de leur position et de leur distance par rapport à nous; mais, comme ces derniers éléments changent en raison des mouvements de la terre et des planètes, il doit en résulter des variations diurnes et annuelles. Doit-on attribuer à de semblables causes les variations que nous observons dans la marche des aiguilles de la boussole, ou du moins y contribuent-elles pour une partie? c'est ce qu'on n'a pu encore découvrir.

On avait déja exprimé le désir (3) que l'on détermi-

(1) Annal. de Ch., t. LII, p. 75.
(2) Précis élémentaire de Phys.; Biot, t. II, 2[e] édit., p. 98.
(3) Précis élém., *idem*, p. 101.

nât avec exactitude l'intensité actuelle du magnétisme terrestre dans un lieu déterminé, pour que l'on pût constater, dans quelques siècles, si les forces magnétiques varient d'intensité, comme elles varient dans leur direction. M. Biot proposa d'observer la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité, en employant trois aiguilles que l'on conserverait ensuite avec soin pour les essayer de nouveau de siècle en siècle; mais, comme elles pourraient perdre, pendant ce laps de temps, une portion de leur magnétisme, on le leur rendrait en les aimantant de nouveau à saturation par la méthode de la double touche. En supposant que leur constitution intime ne changeât pas, le degré de saturation resterait le même. Si l'on trouvait alors des différences dans les actions magnétiques, elles ne pourraient être attribuées qu'aux changements survenus dans le magnétisme terrestre.

Depuis quelques années, deux moyens ont été proposés, pour arriver au même but, par MM. Arago et Poisson. Nous en parlerons dans la troisième période.

D'après l'exposé que je viens de présenter, on peut se faire déja une idée des efforts que l'on a faits pour arriver à la détermination de la distribution des forces magnétiques sur toutes les parties du globe.

TROISIÈME PÉRIODE.

DEPUIS 1820 JUSQU'EN 1833.

CHAPITRE PREMIER.

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES, ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I[er]. *Découverte de l'électro-magnétisme. Action des courants les uns sur les autres.*

En 1820, la science électrique se trouvait dans un état stationnaire, comme à la fin de la première période, et attendait qu'une découverte fondamentale vînt lui imprimer une impulsion nouvelle, comme avait fait le galvanisme en 1790, lorsqu'on apprit que M. Oersted, professeur de physique à Copenhague, guidé par des vues théoriques qu'il avait publiées vingt ans avant sur la constitution des corps, venait d'annoncer, dans un ouvrage écrit en latin (1), qu'une aiguille aimantée, placée à peu de distance d'un fil de métal qui joignait les deux extrémités d'une pile, éprouvait de la part de ce fil une action révolutive telle, que si l'aiguille se trouvait au-dessus ou au-dessous du fil, elle était aussitôt déviée à angle droit, dans un sens ou dans un autre, tandis que si on la plaçait à droite ou à gauche, elle s'inclinait d'un côté ou de l'autre; et qu'enfin

(1) Experimenta circa effectum, etc.

le sens de la déviation et celui de l'inclinaison changeaient suivant que l'électricité positive arrivait d'un côté ou de l'autre du fil. Cette découverte inattendue causa une surprise d'autant plus grande parmi les physiciens, que les essais que l'on avait tentés pour reconnaître le genre d'influence que la pile exerçait sur l'aiguille aimantée, avaient été infructueux.

Ritter, comme nous l'avons déja vu (1), avait avancé, d'après quelques expériences dont il regardait lui-même le résultat comme douteux, que la terre avait des pôles électriques; la position qu'il leur assigna était contraire à la manière dont le globe terrestre agit réellement sur les conducteurs électriques.

En 1805, MM. Hachette et Desormes avaient essayé de reconnaître la direction que prendrait une pile voltaïque horizontale, librement suspendue, en vertu de l'action du globe terrestre; mais comme ils ne mirent pas en communication les pôles de la pile avec un fil métallique, ils n'obtinrent aucun effet.

M. OErsted publia, en 1807, un ouvrage dans lequel il annonçait qu'il avait l'intention de vérifier si l'électricité, dans son état le plus latent, n'avait pas une action sur l'aiguille aimantée (2). Ce n'est que dans l'hiver de 1819 qu'il trouva l'action du fil conjonctif de la pile voltaïque sur l'aiguille aimantée, dont on n'eut connaissance à Paris que vers le mois de juillet 1820.

Immédiatement après cette belle découverte, M. Ampère commença cette suite remarquable de recherches expérimentales et théoriques qui ont servi à jeter les bases de l'électro-dynamique, partie de la physique qui comprend tous les phénomènes relatifs à l'électricité en mouvement.

Le 18 septembre de la même année, il communiqua son premier Mémoire à l'Académie des sciences, dans

(1) Journ. de Phys., t. XVII, 1803, et p. 119 de cette Notice.
(2) Chap. VIII de la traduction de l'allemand, par M. Marcel de Serres.

lequel il réduisit les phénomènes observés par M. OErsted à deux faits principaux. Il montra que l'action de la force électro-dynamique existe également dans toutes les parties du fil conducteur, ainsi que dans la pile; mais l'aiguille étant déviée dans deux sens différents, suivant qu'elle est placée au-dessus de la pile ou à côté du conducteur, il indiqua la loi générale qui détermine le sens de l'aiguille dans chaque cas particulier, en donnant le nom de direction du courant à celle suivant laquelle se meut l'électricité positive. Les effets changeant suivant que l'électricité positive entre d'un côté ou de l'autre dans le conducteur métallique, M. Ampère, pour bien s'entendre sur le sens du courant, suppose qu'un homme est couché dans le circuit, de manière que le courant entre par ses pieds et sort par sa tête; s'il regarde l'aiguille, le pôle nord est dévié à sa gauche. Il décrivit dans le même Mémoire plusieurs instruments qu'il se proposait de faire construire, particulièrement les spirales et les hélices galvaniques, qu'il annonça devoir produire les mêmes effets que les aimants. Il exposa en même temps ses idées sur les propriétés des aimants qu'il rapporta à celle de courants électriques circulant autour des molécules, dans des plans perpendiculaires à leurs axes.

Le 25 septembre (1), il communiqua à l'Académie le résultat de ses recherches sur les actions des courants les uns sur les autres, suivant qu'ils cheminent dans le même sens ou dans des sens différents, en sorte que, quelle que soit la direction de deux fils conducteurs, ils s'attirent en général lorsque les deux courants vont également, soit en s'approchant de la perpendiculaire commune aux directions des deux fils, soit en s'éloignant, et se repoussent au contraire quand l'un tend vers cette perpendiculaire et l'autre va en s'en éloignant. Il admit aussi dans le globe terrestre des courants électriques dans des plans

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XV, 59, 170.

perpendiculaires à la direction de l'aiguille d'inclinaison, et se mouvant par conséquent de l'est à l'ouest.

Le 9 octobre, il présenta un autre Mémoire pour établir l'identité d'action entre les fils conjonctifs et les courbes fermées suivant lesquelles il conçoit des courants électriques dans des plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles d'un aimant. Il décrivit, en même temps, la marche qu'il a suivie depuis, pour calculer les effets des courants électriques d'une longueur finie et ceux des aimants.

Pendant que M. Ampère découvrait l'action des courants les uns sur les autres et cherchait à établir l'identité des fluides électrique et magnétique, M. Arago (1) examinait l'espèce de modification qu'éprouve un fil de métal qui est traversé par un courant électrique; il plaça, à peu de distance, de la limaille de fer qui fut attirée par le fil, et s'y déposa transversalement, en formant des anneaux concentriques. La limaille retomba aussitôt que le courant eut cessé. Bientôt après, par un procédé déduit des idées théoriques de M. Ampère, il aimanta des aiguilles et des barreaux d'acier, en les plaçant dans la partie intérieure d'un fil conjonctif, plié en hélice sur une portion de sa longueur. La position des pôles de l'aiguille était déterminée par celle des spires de l'hélice qui les enveloppait; selon, par conséquent, que les spires tournaient de gauche à droite, ou de droite à gauche. Ayant plié un fil conjonctif formant plusieurs hélices placées à la suite les unes des autres et dont les spires tournaient alternativement en sens contraire, un fil d'acier placé dans leur intérieur fut aimanté et présenta autant de points conséquents qu'il y avait de changements dans la direction des spires. M. Arago a obtenu ces effets en se servant d'une pile, d'une machine électrique ordinaire ou d'une bouteille de Leyde.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xv, p. 93.

Davy (1) de son côté, mais plus tard, aimanta deux petites aiguilles d'acier en les frottant transversalement sur un simple fil conjonctif, ou même en les plaçant à quelque distance de ce fil, hors du contact. Il parvint aussi à aimanter deux petites aiguilles d'acier placées perpendiculairement à la direction d'un fil métallique dans lequel on transmettait l'électricité ordinaire.

Le 30 octobre, M. Ampère annonça à l'Académie que l'action du globe terrestre tend à amener, dans un plan perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison, le plan d'une portion mobile du conducteur d'un appareil voltaïque, disposé de manière à former un circuit presque fermé.

M. Biot (2) lut dans la même séance un Mémoire sur l'action mutuelle des courants et des aimants, dans lequel il fit connaître le caractère de la force électrodynamique, c'est-à-dire la loi suivant laquelle cette force émanée du fil conjonctif s'affaiblit à diverses distances de son axe. Il fit ce travail en commun avec M. Savart, qui commençait alors la carrière scientifique qu'il a parcourue depuis avec tant de distinction. Ils reconnurent, au moyen d'un appareil, dont je ne puis donner ici la description, que la force exercée par le fil est transversale à sa longueur et révolutive, et qu'elle décroît dans un rapport exactement proportionnel à la distance.

Ce résultat était évidemment composé, puisqu'en divisant par la pensée le fil conjonctif en une infinité de petites tranches, chacune d'elles devait agir sur l'aiguille en raison de sa distance et de sa direction. Mais on pouvait remonter, au moyen du calcul, de la résultante trouvée par l'expérience à l'action simple; c'est ce que Laplace fit. Il trouva que la loi individuelle de chaque

(1) Journal de Physique, t. XCI, p. 394.
(2) Journ. de Phys., t. XLI, p. 51; Annal. de Ch. et de Phys., t. XV, p. 232.

force élémentaire agissait en raison inverse du carré de la distance.

MM. Biot et Savart cherchèrent ensuite à déterminer si l'action de chaque tranche du fil était la même dans toutes les directions, ou si elle agissait avec plus d'énergie dans un sens que dans un autre. Ils trouvèrent qu'en faisant passer le courant dans un fil plié ou un fil droit, l'action était toujours réciproque à la distance, mais que l'intensité absolue était plus faible pour le fil oblique que pour le fil droit, dans la proportion de l'angle formé par la direction d'un des bouts du fil avec l'horizon, à l'unité; ils trouvèrent par le calcul que l'action de chaque élément du fil oblique, sur chaque molécule de magnétisme austral ou boréal, est réciproque au carré de sa distance à cette molécule et proportionnelle au sinus de l'angle formé par la distance au sommet de l'angle avec le fil.

Le 6 novembre 1820, M. Ampère annonça un fait relatif à l'action des conducteurs pliés en hélice, fait qu'il avait remarqué long-temps avant d'en connaître la cause et que M. Arago avait observé de son côté. Il en conclut un moyen très-simple de neutraliser l'effet longitudinal d'un courant électrique dans un conducteur plié en hélice et d'en réduire l'action à l'effet transversal, qui se trouve alors identique à celui d'un aimant.

Dans la séance du 4 décembre, il (1) lut un Mémoire sur l'expression analytique des attractions et répulsions des courants électriques. Il s'appliqua à montrer que tous les faits relatifs à l'action mutuelle de deux aimants, d'un conducteur voltaïque et d'un aimant ou de deux conducteurs, pouvaient être ramenés à une cause unique, consistant dans une force tantôt attractive, tantôt répulsive entre les portions infiniment petites de ce qu'il a nommé courants électriques, mais agissant toujours suivant la ligne qui joint leur milieu.

Il admit que l'action de cette force n'était pas seu-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xx, p. 398.

lement fonction de la distance, mais qu'elle dépendait aussi des angles qui déterminent la position respective des deux portions infiniment petites des courants électriques de la ligne qui en joint les milieux.

Dans la séance du 18 décembre, M. Biot lut un Mémoire dans lequel il fit connaître le complément des recherches qu'il avait entreprises conjointement avec M. Savart sur l'action mutuelle des courants et des aimants.

Dans un dernier Mémoire lu à l'Académie des sciences les 8 et 15 janvier 1821, M. Ampère donna quelques essais de calcul relatifs à l'action mutuelle d'un fil conjonctif d'un aimant.

§ II. *Rotation des courants autour des aimants. Multiplicateur électrique; suite des travaux de M. Ampère.*

En 1821, M. Faraday (1) fit l'expérience de la révolution d'un fil conducteur autour du pôle d'un aimant, dont Wollaston avait eu l'idée (2). Il obtint ce mouvement en plaçant l'aimant dans une position verticale et suspendant le conducteur mobile, de manière à ce qu'il pût produire autour de l'une des extrémités de cet aimant un cylindre ou un cône. Le sens de rotation changeait suivant celui du courant. Il réussit également à faire tourner un aimant parallèlement autour d'un fil conducteur, mais non autour de son axe, en plongeant l'aimant dans du mercure, lui donnant une position verticale au moyen d'un lest en platine placé au bout inférieur et faisant arriver, au moyen d'un fil conducteur, un courant électrique qui se distribuait dans tout le mercure.

M. Faraday chercha si l'on pouvait imprimer à un aimant un mouvement de rotation autour de son axe.

---

(1) On Electro-Magnetism motions and the Theory of Magnetism. Septembre 1821; Annal. de Ch. et de Phys., t. XVIII, p. 337.

(2) Précis des Phénomènes électro-dynamiques, inséré dans le ve vol. de Chimie de Thompson; trad. de M. Riffaud.

Mais, d'après le mode d'expérimentation dont il se servit, il constata que ce mouvement était impossible. Le Mémoire dans lequel il rendit compte des tentatives qu'il fit à ce sujet, ayant été publié dans les Annales de Chimie et de Physique, M. Ampère et Savary y joignirent des notes où ils montrèrent que ces trois faits étaient une suite nécessaire de la théorie de M. Ampère. Ce dernier (1) s'aperçut ensuite que si le mouvement de rotation de l'aimant sur son axe n'avait pas eu lieu dans les expériences de M. Faraday, c'est que le courant ne passait ni dans l'aimant, ni dans une portion de conducteur qui y fût solidement attachée. Il réalisa cette pensée et obtint le mouvement de rotation avec une grande vélocité. Il démontra en même temps que cet effet résultait de sa théorie, ainsi que le résultat négatif obtenu par M. Faraday. Il attribua tous ces mouvements à la suite non interrompue des attractions et des répulsions que les courants de l'aimant et le courant électrique exerçaient dans toutes leurs positions les uns sur les autres.

A l'appui de sa théorie, il prouva qu'avec les mêmes hélices qui lui avaient servi à imiter les propriétés des aimants que l'on connaissait alors, il pouvait reproduire les faits découverts par M. Faraday.

Davy ayant plongé dans du mercure les extrémités de deux conducteurs en communication avec les extrémités d'une pile, et ayant approché l'un des pôles d'un aimant puissant, près de la surface du mercure en contact avec ces conducteurs, il vit aussitôt le mercure prendre un mouvement de rotation rapide dont le sens dépendait de la nature du pôle de l'aimant et de celui de la pile. Ce phénomène rentrait évidemment dans le premier des trois faits découverts par M. Faraday.

Davy fit une expérience très-intéressante qui tendait à montrer que les actions des aimants sur les conducteurs,

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 389.

ou de ceux-ci sur d'autres conducteurs, étaient dues aux attractions et répulsions des courants, sans que les parties matérielles y fussent pour quelque chose. Nous avons déja vu qu'en faisant passer la décharge d'une très-forte pile entre deux pointes de charbon, il se produit un jet de lumière dont l'éclat est si vif que l'œil ne peut en supporter la vue. Davy ayant présenté un aimant à ce jet de lumière, il vit qu'il en éprouvait une action semblable à celle d'un conducteur métallique mobile, c'est-à-dire, qu'il en était attiré et repoussé selon le pôle en regard et le sens du courant.

J'ai déjà dit que M. Ampère pensait qu'un aimant était formé de courants électriques tournant autour des molécules, dans une direction perpendiculaire à la ligne des pôles. Il rendit probable cette conjecture en prouvant qu'un fil de cuivre recouvert de soie et enroulé en hélice autour d'un tube de verre, se comporte comme un aimant par rapport à un aimant ou à d'autres courants, c'est-à-dire que chacune des deux moitiés possède un magnétisme différent. La découverte récente de M. Faraday, relative à la production des courants par induction, est venue confirmer cette conjecture.

En même temps que M. Ampère étudiait les propriétés magnétiques des hélices, M. Schweiger, en Allemagne (1), imaginait le multiplicateur électrique, fondé sur le même principe. A l'aide de cet appareil, qui est, sans contredit, une des plus belles applications de la découverte de M. Œrsted, on rend sensible l'action de très-faibles courants sur l'aiguille aimantée, ce qui permet d'étudier la question du dégagement de l'électricité dans une infinité de circonstances où il y avait impossibilité de le faire avant. Sa construction varie suivant la source qui produit l'électricité que l'on veut observer. Mais le type général est un châssis en bois, ouvert sur deux faces et autour duquel est enroulé un fil de cuivre recouvert de

(1) Bibl. univ., t. XVI, p. 197.

soie. Le diamètre et le nombre des circonvolutions dépendent de la nature de la source de l'électricité. Une aiguille aimantée, librement suspendue à un fil simple de soie, est placée dans l'intérieur du châssis. Aussitôt que le fil est traversé par un courant, les actions partielles de l'aiguille aimantée sur chacune des circonvolutions, supérieures et inférieures, s'ajoutent et produisent une résultante, qui suffit pour faire dévier l'aiguille aimantée, même quand le courant est très-faible.

Un des grands avantages de cet instrument sur tous ceux qui servent à constater la présence de l'électricité, est de faire connaître en même temps le sens du courant ou la nature de chacune des électricités par celui de la déviation de l'aiguille et son intensité par la grandeur de la déviation, ce qui n'a pas lieu avec les autres électroscopes. On y a fait depuis plusieurs perfectionnements dont je parlerai ci-après.

Aussitôt que M. Ampère eut fait connaître l'action des courants les uns sur les autres et sur les aimants, il prouva que le globe terrestre se comportait, dans son action sur les conducteurs et les aimants, précisément comme s'il existait dans le globe des courants cheminant de l'est à l'ouest. Il suspendit à cet effet un conducteur fermé dans un plan vertical et libre de se mouvoir autour d'une ligne verticale passant par son centre de gravité; ce conducteur, lorsqu'on y fit passer un courant, obéit à l'action du globe et se plaça dans une direction perpendiculaire à celle du méridien magnétique. En changeant le sens du courant, le conducteur faisait une demi-révolution pour se placer de nouveau perpendiculairement au méridien magnétique, de manière à avoir, dans ce cas-ci comme dans l'autre, le courant dans la partie inférieure dirigée de l'est à l'ouest.

En substituant une hélice au conducteur, il eut un résultat analogue, mais plus marqué; l'hélice se comporta dans ce cas comme un aimant. Ce résultat vint fortifier M. Ampère dans les idées qu'il s'était faites de la cons-

titution des aimants et l'engagea à les appliquer au magnétisme terrestre.

On a déja vu, à la fin de la première période et même de la seconde, toutes les tentatives qui avaient été faites pour remonter à la cause de cette propriété, ainsi je n'y reviendrai pas.

La découverte de l'électro-dynamique fournit de nouveaux moyens de reprendre cette question, et M. Ampère ne laissa pas échapper une si belle occasion de montrer toutes les ressources de son esprit. Ayant supposé, comme nous venons de le voir, que le magnétisme terrestre devait être attribué à des courants électriques qui circulaient dans la terre à peu de distance de la surface de l'est à l'ouest, il chercha à vérifier cette hypothèse par l'expérience, en montrant que l'on pouvait imprimer un mouvement de rotation à un circuit mobile, parcouru par un courant, au moyen de l'action du globe.

Il ne suffisait pas d'admettre que le magnétisme du globe était dû à des courants électriques circulant à peu de distance au-dessous de sa surface, il fallait encore rendre probable cette conjecture en s'appuyant sur quelques faits dont on pût supposer l'existence. Davy en fournit les moyens à M. Ampère : il avait avancé que le globe était peut-être formé d'un noyau métallique de potassium, de sodium, de silicium, etc., recouvert d'une couche oxidée; dès lors M. Ampère supposa qu'à la surface de contact il s'opérait encore continuellement des réactions chimiques qui produisaient une foule de courants électriques auxquels on pouvait rattacher le magnétisme terrestre. Nous reprendrons plus loin cette question, après avoir exposé les phénomènes thermo-électriques.

M. Delarive, la même année, publia un Mémoire touchant l'action de la terre sur une portion mobile d'un circuit voltaïque fermé, dans lequel il fit connaître que cette action, dans un rectangle par exemple, s'exerçait sur les portions verticales seulement. Il établit alors

cette loi générale (1) : *Qu'un courant vertical susceptible de tourner autour d'un axe vertical auquel il est lié, se dirige constamment de façon que le plan qui l'unit à son axe soit perpendiculaire au méridien magnétique, se plaçant lui-même à l'est s'il est descendant, à l'ouest s'il est ascendant.*

De ce qu'un courant horizontal n'est pas affecté par le magnétisme terrestre, il n'est pas dit pour cela que son action soit complétement nulle; aussi M. Delarive a-t-il trouvé que cette action existait et qu'elle était soumise à cette autre loi : *Qu'un courant horizontal, susceptible de se mouvoir parallèlement à lui-même, se meut de cette manière dans un sens ou dans un autre, suivant sa propre direction, et que ce mouvement a lieu dans toutes les positions où on le met, qu'il soit placé dans la direction du sud au nord, dans celle de l'est à l'ouest ou dans toute autre intermédiaire.*

M. Ampère admit ces deux lois après avoir prouvé qu'elles résultaient de celles qui étaient relatives à l'action électro-dynamique, qu'il avait établie depuis long-temps.

M. Berzelius, dans une lettre adressée à M. Berthollet, qui en fit la communication à l'Académie des sciences, le 8 janvier 1821, exposa ses idées sur l'état magnétique des corps qui transmettent un courant électrique (2). Suivant lui, en faisant passer un courant électrique dans un parallélipipède métallique, chacune de ses arêtes est un pôle magnétique, dont la largeur est égale à la longueur du parallélipipède. Les arêtes diamétralement opposées contiennent la même espèce de polarité, tandis que celles qui terminent la même face, contiennent une polarité opposée Ainsi on pouvait représenter l'état magnétique intérieur, sur la coupe transversale du conducteur, par celui de deux aimants

---

(1) Esquisse historique sur les principales découvertes faites dans l'électricité. Delarive, p. 63.

(2) Recueil d'observat. électro-dynamiques, par M. Ampère, p. 93.

appliqués par leurs pôles opposés, l'un contre l'autre. Il résultait de là que chacune des deux électricités devait être représentée par son aimant, et que chacune a son pôle magnétique analogue, tourné vers le même côté par rapport à sa direction. M. Berzelius en tira la conséquence que cette manière de voir explique tous les phénomènes magnétiques du courant électrique observés jusqu'à présent, et laisse prévoir tous ceux dont le corps conducteur, pendant cet état, est susceptible. Il regarda en conséquence comme improbable l'hypothèse avancée par M. Œrsted, que les phénomènes magnétiques du courant doivent leur origine à un mouvement en hélice des deux électricités, dont l'une détermine la position de l'aiguille au-dessus, et l'autre au-dessous du fil conducteur. La polarité magnétique double du conducteur lui parut être une explication plus simple et plus vraisemblable.

M. Ampère (1) adressa de suite une lettre à M. Arago, pour répondre à celle de M. Berzelius, dans laquelle il commença d'abord par dire que M. Berzelius, à l'époque où il communiquait le résultat de ses observations à M. Berthollet, n'avait pas encore eu connaissance de son travail relatif à l'action de deux conducteurs voltaïques et des conséquences qu'il en tira sur l'identité de fluides électrique et magnétique, attendu que les expériences qui y sont décrites sont une suite immédiate de la théorie fondée sur cette identité. Il fit part, à ce sujet, des réflexions que lui avait suggérées la lecture de la lettre.

Davy, dans une lettre adressée à M. Ampère, sous la date du 20 février 1821, lui dit que, d'après quelques observations qu'il a faites sur les phénomènes électrodynamiques, il doutait de l'identité de l'électricité et du magnétisme (2), et que ses doutes se sont plutôt augmentés que détruits par quelques nouvelles expé-

(1) Recueil d'observat. électro-dynamiques, par M. Ampère, p. 99.
(2) *Idem*, p. 121.

riences, telles que celles qui démontrent le pouvoir qu'ont de très-mauvais conducteurs électriques de devenir des aimants, et l'indifférence absolue des courants électriques très-forts, qui passent à travers l'air, soit les uns pour les autres, soit pour les aimants. M. Ampère répondit à plusieurs passages de cette lettre, non directement à Davy, mais à M. Delarive, sous la date du 15 mai de la même année (1), et en particulier à l'objection que des corps, très-mauvais conducteurs de l'électricité, peuvent acquérir les propriétés des fils métalliques, quand on les met en communication avec les deux extrémités d'une pile voltaïque. Il déclare qu'il n'a jamais pu y parvenir et qu'il ignore le procédé qu'a employé Davy pour obtenir ce résultat. Quant à la seconde objection, que de forts courants électriques à travers l'air n'agissent ni les uns sur les autres, ni ne sont influencés par un aimant, ni ne tendent à changer la direction de l'aiguille aimantée, nous avons déja vu que peu de temps après, Davy prouva lui-même que le fait sur lequel elle était fondée était absolument faux, puisqu'il obtint avec une pile très-forte l'action mutuelle d'un courant dans l'air et d'un aimant. Il ajoute que, si on avait une pile excessivement énergique, le courant électrique continu pourrait peut-être s'établir à travers l'air et agir sur un aimant, conformément à l'ingénieuse idée proposée par M. Arago pour expliquer les aurores boréales.

M. Ampère, dont l'imagination ardente a devancé quelquefois l'expérience, frappé des beaux travaux de Fresnel sur la lumière, et surtout de l'accord des considérations sur lesquelles il s'appuyait, et de celles qui s'étaient présentées à son esprit relativement à la cause des attractions et répulsions électro-dynamiques, développa ses idées à cet égard.

« Cet accord, disait-il (2), prouvait, par l'ensemble de

(1) Rec. d'observat. électro-dynam., par M. Ampère, p. 121.
(2) *Idem*. p. 215.

« ces phénomènes, que le fluide répandu dans tout l'es-« pace, qui ne peut être que le résultat de la réunion « des deux électricités, était à peu près incompressi-« ble, traversait tous les corps, et que les mouvements « excités dans ce fluide s'y propageaient par une sorte « de frottement des couches déja en mouvement sur « celles qui ne l'étaient pas. D'après cela, il était natu-« rel de penser que le courant électrique d'un fil con-« ducteur faisait, en partie, partager son mouvement « au fluide neutre environnant, et frottait en partie con-« tre lui, de manière à donner naissance à une réaction « de fluide sur le courant, qui ne pouvait tendre à dé-« placer celui-ci, tant que la différence de vitesse était « la même de tous les côtés du courant électrique, mais « qui devait tendre à le mouvoir, soit du côté où « cette différence de vitesse et par conséquent l'action « électrique serait moindre, soit du côté opposé à celui où « elle serait plus grande, parce qu'il s'y trouverait un autre « courant électrique, tendant à pousser le même fluide « en sens contraire, suivant que les deux courants, qui « agiraient aussi l'un sur l'autre, seraient dirigés dans « le même sens, ou auraient des directions opposées. »

Quelques années après que M. Arago eut trouvé l'action qu'exerce un courant électrique sur le fer non aimanté, et que Davy eut montré que l'on pouvait aimanter des aiguilles d'acier en les frottant transversalement sur un fil de métal parcouru par un courant, M. Savary se livra à une suite de recherches d'un haut intérêt sur l'aimantation des aiguilles d'acier, placées à diverses distances d'un fil de métal, dans lequel on fait passer la décharge d'une bouteille de Leyde (1). Il trouva que les aiguilles placées du même côté prennent une aimantation plus ou moins forte, selon la distance à laquelle elles se trouvent placées du fil conducteur; que les plus rapprochées ne sont pas toujours

(1) Annal. de Ch. et de Phys., 1827, t. XXXIV, p. 25.

les plus aimantées, attendu qu'il existe, à diverses distances du fil, des points où l'aimantation est à son maximum, et d'autres à son minimum; que la distance influe aussi sur le sens de la polarité; car les pôles nord et sud se trouvent tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, selon la distance. Il observa que ces alternatives, dans le sens du magnétisme, se renouvellent plusieurs fois, et que leur nombre, tant sous le rapport du sens que sous celui de l'intensité, dépend, en grande partie, de la longueur et du diamètre du fil, ainsi que de sa conductibilité et de l'énergie de la décharge électrique.

M. Savary étudia tous ces phénomènes avec le plus grand soin, et l'on peut dire qu'il a présenté un travail complet sur l'aimantation des aiguilles d'acier par des décharges électriques. Il s'est occupé aussi de l'influence que les métaux exercent sur l'aimantation, quand ils sont interposés entre les aiguilles et le fil conducteur; lorsque l'aiguille est enveloppée, par exemple, d'une feuille métallique, l'aimantation est plus forte. Il a déterminé ensuite l'épaisseur de l'enveloppe qui donne le maximum; en l'augmentant, on revient à celle que l'aiguille aurait pris sans enveloppe. Le cuivre, l'étain, l'or, l'argent et le mercure possèdent la propriété dont je viens de parler, mais à des degrés différents. L'intensité de la charge influe d'une manière singulière sur l'aimantation; car selon qu'elle est plus ou moins forte, il faut donner des épaisseurs différentes à la même enveloppe, pour obtenir les mêmes effets; il en résulte aussi quelquefois un changement dans le sens de l'aimantation.

M. Savary a reconnu enfin que les faits qu'il a observés ne peuvent être expliqués dans l'hypothèse où le courant électrique est produit par le transport de la matière électrique, ayant lieu d'une manière continue, dans un sens déterminé, et qu'ils semblent indiquer que le courant peut être envisagé comme une suite d'oscillations transmises du fil conducteur aux milieux environnants.

§ III. *Des multiplicateurs et des effets électriques produits dans les actions chimiques.*

J'ai déja exposé les diverses théories électro-chimiques qui ont été proposées, dans le cours de la seconde période, pour expliquer les phénomènes chimiques et les rattacher à l'action des forces électriques; ainsi je n'y reviendrai pas. Mais, à cette époque, on n'avait pas encore analysé les effets électriques qui ont lieu non-seulement dans les actions chimiques, mais encore dans quelques phénomènes où l'équilibre naturel des molécules des corps est troublé par une cause quelconque. La connaissance de ces faits était cependant nécessaire pour préciser les rapports qui peuvent exister entre les affinités et les forces électriques.

Fabroni annonça le premier que l'action chimique était la cause du dégagement de l'électricité, dans l'arc composé de deux métaux différents, employés à produire des contractions dans la grenouille. Plusieurs physiciens soutinrent la même doctrine, mais sans démontrer le fait; Wollaston, entre autres, ne vit dans tous les phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité, même dans ceux de frottement, que le résultat d'une action chimique. Pour avoir été trop exclusif, il rencontra peu de savants disposés à soutenir sa doctrine. D'un autre côté, il s'attacha plutôt à quelques faits généraux de l'électro-chimie qu'à démontrer d'une manière claire et précise le dégagement de l'électricité dans les cas les plus simples des actions chimiques. Il faut dire aussi qu'à l'époque où cet ingénieux physicien s'occupa de cette question, on était privé d'instruments convenables à l'aide desquels on pouvait la résoudre. Il est probable que si OErsted n'eût pas découvert l'électro-magnétisme, on en serait peut-être encore au même point où Wollaston avait laissé la science.

Les appareils destinés à observer le dégagement de l'électricité dans les phénomènes chimiques sont les électroscopes et les multiplicateurs. Les premiers servent,

comme nous l'avons déja vu, à constater la présence de l'électricité libre, c'est-à-dire, avec tension; les seconds, celle de l'électricité en mouvement, qui n'a plus alors aucun des caractères propres à l'autre, puisque sa tension est inappréciable. Bohnenberg donna à l'électroscope à feuilles d'or une sensibilité telle, qu'il faut avoir l'habitude de se servir de cet appareil pour ne pas être induit en erreur par de fausses indications. Cet appareil consiste en une feuille d'or battu très-mince en communication avec le plateau inférieur du condensateur de Volta et placée entre les deux pôles opposés d'une pile sèche. Cette feuille, quand elle reçoit du condensateur un excès très-faible d'une des deux électricités, est attirée par le pôle qui possède une électricité contraire en même temps qu'elle est repoussée par l'autre, deux actions qui en s'ajoutant augmentent la sensibilité de l'électroscope.

Le multiplicateur de Schweiger reçut aussi de grands perfectionnements. Le plus important de tous, sans contredit, est celui qui est dû à M. Nobili. Pour détruire l'influence du magnétisme terrestre qui s'oppose toujours à ce que l'aiguille aimantée obéisse entièrement à l'action du courant, puisque cette influence la ramène continuellement dans le plan du méridien magnétique, il substitua à l'aiguille aimantée deux autres aiguilles placées, dans une position parallèle, à l'extrémité d'une tige très-légère, les pôles inverses en regard; c'est le système astatique de M. Ampère. Si les deux aiguilles étaient parfaitement identiques, possédaient la même quantité de magnétisme et se trouvaient dans deux directions parfaitement parallèles, le globe n'exercerait aucune action sur ce système, mais il ne peut jamais en être ainsi. Il lui reste toujours une force directrice très-faible, qui le ramène dans une position fixe, quand on l'en dérange.

L'une dès deux aiguilles est placée dans l'intérieur de la boîte du galvanomètre et l'autre en dehors. L'action du courant agit dans le même sens sur chacune d'elles, et comme il ne reste plus au système qu'une force directrice peu

sensible, il en résulte que de très-faibles courants qui ne peuvent mettre en mouvement une des deux aiguilles, impriment au système une action très-prononcée. Cet instrument, après la grenouille nouvellement écorchée, est le plus délicat que nous possédions pour constater la présence des courants dans des phénomènes où l'on ne soupçonnait pas jadis leur existence.

M. Colladon (1) a fait au multiplicateur un perfectionnement qui permet d'observer les déviations de l'aiguille aimantée provenant des courants produits par la décharge de bouteilles de Leyde ou de l'électricité des nuages. Dans ce cas on ne peut se servir des multiplicateurs ordinaires, attendu que les circonvolutions du fil n'étant pas séparées les unes des autres par une substance suffisamment isolante, l'électricité passe de l'une à l'autre. M. Colladon, pour parer à cet inconvénient, prépara un galvanomètre de 500 tours avec un fil doublement recouvert de soie et dans lequel chaque série de tour est séparée par un taffetas gommé. En fixant l'un des bouts du fil de ce multiplicateur au conducteur positif d'une machine de Nairn et l'autre au conducteur négatif, la déviation est régulière et proportionnelle à la vitesse avec laquelle on tourne la manivelle.

Voyons maintenant les recherches qui ont été faites pour découvrir la présence de l'électricité dans les actions chimiques. Cette électricité s'y trouve à l'état de courant ou à l'état de tension.

Immédiatement après la découverte d'OErsted, on trouva, en Allemagne, que lorsque l'on plonge dans de l'acide nitrique, l'un après l'autre, les deux bouts du fil de cuivre d'un multiplicateur, celui qui est plongé le premier prend à l'autre l'électricité positive, par l'intermédiaire de l'acide. Cette expérience nous fut communiquée par M. OErsted (2); mais on ne put dire

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIII, p. 62.
(2) Journ. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 363.

alors si cet effet provenait de l'action chimique proprement dite, ou bien d'une différence dans les températures des deux bouts inégalement attaqués (1). Le chevalier Yelin s'occupa aussi de recherches de ce genre.

C'est à cette époque où je commençai une suite non interrompue de recherches pour analyser les effets électriques qui sont produits dans toutes les actions chimiques, de quelque nature qu'elles soient. Les appareils dont je me servis furent successivement modifiés pour éviter le dégagement de l'électricité due à des causes étrangères. Pour ne laisser aucun doute sur l'exactitude des résultats, je multipliai les expériences, et je crois que la question peut être regardée maintenant comme complétement résolue. On prend 4 capsules de porcelaine que l'on range sur la même ligne; dans les deux capsules extrêmes, on verse un même liquide, et dans les deux capsules du milieu, les deux dissolutions que l'on veut faire réagir l'une sur l'autre; puis l'on plonge dans les deux capsules extrêmes les lames de platine qui terminent le fil du multiplicateur, et l'on fait communiquer la première et la deuxième, la troisième et la quatrième, avec des tubes recourbés remplis d'eau, et la deuxième et la troisième, avec une mèche d'asbeste.

On emploie aussi un second appareil, qui consiste en une capsule de porcelaine contenant le liquide sur lequel on fait réagir la lame de métal qui est en communication avec l'un des bouts du galvanomètre, tandis qu'une lame de platine, communiquant avec l'autre bout, reçoit du liquide l'électricité qu'il a prise dans sa réaction sur le métal. Cette disposition ne suffit pas encore. Aussi est-on obligé de faire plusieurs modifications dont on ne peut rendre compte ici, pour se garantir de l'action électro-motrice et des effets électriques produits pendant la réaction de la dissolution qui se forme sur le liquide environnant. Voici les résultats généraux rela-

(1) Bibl. univ., t. XXIII, p. 38.

tifs aux effets électriques produits dans les actions chimiques (1):

1° Quand un acide se combine avec un alcali, le premier prend l'électricité positive, et le second l'électricité négative.

2° Dans la réaction d'une dissolution acide ou alcaline sur l'eau, celle-ci, dans le premier cas, se comporte comme un alcali, et dans le second, comme un acide, c'est-à-dire, qu'elle prend l'électricité négative ou positive, suivant qu'elle réagit sur un acide ou un alcali. Ce résultat est conforme au mode d'action de l'eau sur les acides et les alcalis, puisqu'on sait qu'elle joue le rôle de base, par rapport aux premiers, et d'acide, par rapport aux seconds.

3° Dans les doubles décompositions, on ne recueille jamais d'électricité, attendu qu'il y a neutralisation complète des deux électricités.

4° Dans la réaction d'un acide sur un métal, on obtient encore des effets électriques conformes au principe général; mais les effets sont tellement composés, en raison de la réaction les unes sur les autres des dissolutions qui se forment, qu'il est nécessaire d'employer de grandes précautions pour les observer.

5° Toutes les fois que dans le contact d'un acide avec un métal, il n'y a pas d'action chimique, il ne se produit pas de courant. On a la preuve de ce fait en plongeant dans de l'acide nitrique une lame d'or et une autre de platine, communiquant chacune avec l'un des bouts du multiplicateur. Quand les deux surfaces sont très-nettes, il n'y a pas de courant; mais aussitôt qu'on ajoute à l'acide une seule goutte d'acide hydrochlorique capable de former de l'eau régale pour attaquer l'or, il y a aussitôt un courant qui indique que l'or

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIII, p. 152 et 244. *Idem*, t. XXIV, p. 244. *Idem*, t. XXIV, p. 192 et 345. *Idem*, t, XXVI, p. 176. *Idem*, t. XXVIII, p. 19. *Idem*, t. XLI, p. 5.

prend l'électricité négative, et l'acide l'électricité positive, conformément au principe général.

6° La combustion manifeste des effets conformes au principe général, c'est-à-dire, que la base prend toujours l'électricité négative, l'oxigène et l'acide carbonique l'électricité positive.

Cette question que je traitai d'abord fut analysée ensuite par M. Pouillet, en ce qui concerne particulièrement la combustion du charbon.

7° Dans les décompositions chimiques, on a des effets électriques inverses de ceux qui se manifestent dans les combinaisons, c'est-à-dire que les bases prennent l'électricité positive, et les acides l'électricité négative. Ces effets ont été étudiés avec soin par M. Pouillet.

8° L'évaporation ne porte aucun trouble dans l'équilibre des forces électriques, toutes les fois qu'elle n'est pas accompagnée de réactions chimiques; ce fait a été également constaté par M. Pouillet.

En continuant mes recherches sur le dégagement de l'électricité, j'ai été conduit à ce principe général, qu'il y avait trouble dans l'équilibre des forces électriques, toutes les fois que les molécules des corps se trouvent dérangées de leur position d'équilibre naturelle par une cause quelconque.

Les effets singuliers de la décomposition de l'eau oxigénée par le contact des éponges métalliques et de certains oxides, attirèrent d'autant plus mon attention qu'ils ne paraissaient pas dépendre immédiatement des affinités. L'expérience prouva que, dans cette décompotion, en écartant les causes qui peuvent compliquer les effets, il y a toujours un dégagement d'électricité (1) absolument semblable à celui que l'on obtient dans les actions chimiques, c'est-à-dire que l'éponge de platine prend l'électricité négative à l'eau oxigénée, et se comporte, par conséquent, sous le rapport des effets élec-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 16.

triques, comme une base dans sa réaction sur un acide. Ce résultat n'est pas sans quelque importance dans l'examen des relations qui existent entre les forces chimiques et celles qui sont mises en jeu dans cette circonstance. Je me suis occupé encore d'un autre mode de dégagement de l'électricité, qui a du rapport avec celui qui précède, je veux parler des effets électro-capillaires. Rien n'est plus simple que d'observer ce dégagement : on verse dans une cuiller de platine, en communication avec un multiplicateur, un liquide quelconque, dans lequel on plonge une éponge de platine, communiquant avec le même appareil. On a un courant qui se comporte assez ordinairement comme si l'éponge était attaquée par l'acide, quand le liquide, toutefois, est un acide. Il se présente des anomalies singulières, suivant que l'on opère avec certains acides plus ou moins concentrés, dont on ne peut rendre compte dans ce précis.

Jusqu'ici il n'a été question que de courants électriques produits dans les actions chimiques.

Je cherchai aussi à recueillir de l'électricité de tension dans les mêmes circonstances. Davy, comme je l'ai déja dit, pages 148 et suivantes de cette notice, n'en avait pas trouvé. Ses idées théoriques sur ce point étaient tellement opposées à la présence de l'électricité dans les phénomènes électriques, qu'il ne chercha pas tous les moyens de constater le fait. Dans les Mémoires où je publiai mes premières observations (1), j'attachai peut-être un peu trop d'importance à l'influence de l'action électro-motrice dans le contact des corps, action que je ne rejette pas tout-à-fait. Néanmoins j'avoue que les observations qui m'ont été faites à cet égard par M. Delarive, ont un peu modifié mes idées sur le rôle que peut jouer la force électro-motrice dans le contact des corps, et je reconnais maintenant qu'avec le condensateur on obtient, dans les actions

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXV, p. 405, et t. XXVII, p. 5.

chimiques, des effets électriques absolument semblables à ceux dont le multiplicateur accuse l'existence. J'aborderai franchement cette question dans le cours de l'ouvrage, avec tous les développements qu'elle mérite.

Davy (1), en 1826, publia un nouveau travail ayant pour titre : *Des relations qui existent entre les actions électriques et les actions chimiques ;* et dont le but était de combattre sur tous les points les résultats que j'avais annoncés sur la production des effets électriques dans les phénomènes chimiques. Dans ce Mémoire il reproduisit simplement sa théorie électro-chimique dont j'ai déja parlé ; il s'appliqua à prouver que les courants électriques qui accompagnent la combinaison ou la décomposition des corps, ne sont pas dus aux actions chimiques, mais bien aux actions électro-motrices produites par le contact des formations nouvelles avec les métaux soumis à l'expérience, et qu'en général il n'y a aucun dégagement d'électricité dans les combinaisons.

Davy annonça, contradictoirement à ce que j'avais annoncé, que, dans l'action d'un acide sur un alcali, si au lieu de faire communiquer chacun de ces corps immédiatement avec les bouts du galvanomètre, on interpose entre eux une solution saline, on n'a aucun dégagement d'électricité. Je fis voir qu'il n'avait eu un résultat négatif que parce que son appareil n'avait pas assez de sensibilité.

Convaincu de l'exactitude des résultats que j'avais obtenus précédemment, je repris les expériences qui me les avaient donnés (2), je les variai, j'étudiai particulièrement l'influence qu'exercent sur le dégagement de l'électricité les altérations que les métaux éprouvent de la part des liquides dans lesquels ils sont plongés, et je démontrai, 1° que les effets électriques qui ont lieu, sont souvent dirigés dans une direction inverse de ceux que

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys, t. XXXIII, p. 276.
(2) *Idem*, t. XXXV, p. 113.

Davy avait cru reconnaître; 2° que dans la réaction des liquides sur les métaux, il n'avait obtenu que des effets composés, qui ne pouvaient le mettre à même de tirer des conséquences générales sur les effets électriques résultant du jeu des affinités. Dès cet instant, Davy cessa de combattre les résultats que j'avais annoncés.

M. Nobili (1) intervint dans cette discussion avec le multiplicateur auquel il avait donné une extrême sensibilité. Il obtint également des effets électriques très-prononcés, dans la réaction d'un acide sur l'alcali, en employant le même mode d'expérimentation que j'avais indiqué. Il annonça, dans le même Mémoire, un fait que j'avais aussi observé quelquefois, c'est qu'en plongeant dans un acide liquide un fragment de potasse ou de soude, on avait souvent, dans le premier instant, des effets électriques inverses de ceux que l'on obtenait quand l'un et l'autre étaient à l'état liquide, c'est-à-dire que l'alcali prenait l'électricité positive. Ces effets, dans les cas où je les ai observés, n'étaient que de peu de durée et devaient être rapportés aux effets thermo-électriques dont nous parlerons dans le paragraphe suivant.

Dans la plupart des Mémoires déja cités, j'ai dit que dans les cas où il y a action chimique, les effets électriques sont inverses de ceux que l'on obtient dans le simple contact; j'admettais alors l'action électro-motrice telle que l'a imaginée Volta, et l'a défendue Davy. J'avoue que, dans mes premières recherches, je partageai complétement leurs idées à cet égard; je n'osai même pas supposer qu'ils se fussent trompés, tant je vis que cette théorie avait jeté des racines profondes dans les esprits. Ce n'est que peu à peu, en me familiarisant avec les expériences, et surtout après avoir eu connaissance des idées de M. Delarive sur les phénomènes élec-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 239; Bibl. univ., t. XXXVII, p. 24.

tro-chimiques, que je commençai à modifier un peu le rôle que peut jouer la force électro-motrice dans les phénomènes chimiques. Je crois donc que, dans l'état actuel de la science, quoique la plupart des faits connus donnent une origine chimique aux phénomènes électro-chimiques, ils ne sont pas encore assez nombreux pour renverser entièrement l'édifice élevé par Volta et substituer à la place la théorie de Fabroni et autres. Au surplus, on verra dans les chapitres relatifs au dégagement de l'électricité, les motifs qui m'ont déterminé à ne pas me prononcer encore sur cette question.

M. Auguste Delarive (1) s'est constamment appliqué, depuis cette époque, à démontrer que l'action électro-motrice n'existe pas; que le contact de deux substances hétérogènes ne peut, par lui-même, donner naissance à des effets électriques; que ceux-ci ne sont produits qu'autant qu'il y a action calorifique, mécanique ou chimique. Je reviendrai bientôt sur les travaux de M. Delarive relatifs à la production de l'électricité voltaïque.

MM. Avogadro et Michelotti (2) avaient annoncé que lorsque l'on plonge deux métaux différents dans certains liquides, il se produit des effets inverses de ceux que l'on obtient dans la théorie de Volta. Ces changements parurent à M. Delarive inconciliables avec l'hypothèse de Volta, et ne contribuèrent pas peu à la lui faire abandonner. Je rendrai compte incessamment des expériences qu'il fit pour appuyer sa manière de voir.

---

(1) Annales de Chimie et de Phys., t. XXXVII, p. 225; t. XXXIX, p. 297; Mémoire de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. IV, p. 285, et t. VI, p. 149.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 361.

§ IV. *Découverte des phénomènes thermo-électriques ; effets électriques de pression et de frottement.*

Depuis que l'on s'occupe des phénomènes électriques, on attache une grande importance aux causes qui troublent l'équilibre des deux principes électriques dans les corps, parce que ces causes peuvent donner quelques notions sur leur nature. D'un autre côté, on a cherché, à diverses reprises, à découvrir les rapports qui existent entre la chaleur et l'électricité, tant on était persuadé que l'une et l'autre avaient une origine commune; mais toutes les expériences qu'on a faites à cet égard, quoique intéressantes, n'ont pas encore conduit à un rapprochement suffisant pour cimenter une alliance intime.

L'électro-magnétisme a permis cependant d'étendre les rapports qui existent entre ces deux agents généraux de la nature, en nous faisant connaître une nouvelle classe de phénomènes électriques, produits par la chaleur dans un anneau formé de deux lames de métal différent, soudées bout à bout, et dans lequel les deux soudures n'ont pas la même température. La découverte de ce fait important est due à Seebeck, professeur de physique à Berlin; toutes les expériences qu'il a faites à ce sujet ont été communiquées à l'Académie des Sciences de Berlin, dans les années 1821 et 1822, et réunies dans un Mémoire imprimé dans le recueil de ceux de cette société.

Volta avait déja observé qu'une lame d'argent, dont les deux bouts n'avaient pas la même température, constituait un élément voltaïque; M. Dessaignes avait reconnu également ce fait, plusieurs années après, en voyant les contractions se produire dans une grenouille dont les muscles et les nerfs étaient mis en communication, au moyen d'une cuiller d'argent, dans la cavité de laquelle on avait mis un charbon allumé. C'est tout

ce que nous savions sur l'influence de la chaleur dans les phénomènes électriques qui ont lieu au contact des métaux.

Les premières recherches de M. Seebeck furent faites avec un étrier formé d'un barreau d'antimoine ou de bismuth, aux deux extrémités duquel était soudée par ses deux bouts une lame de cuivre recourbée en demi-cercle. En élevant la température de l'une des soudures, tandis que l'autre restait constante, le courant allait dans le circuit antimoine-cuivre de la partie chaude à la partie froide, en suivant l'antimoine; le contraire avait lieu avec l'autre circuit. L'effet était d'autant plus marqué, que la différence de température était plus considérable; et le sens du courant changeait en portant le foyer de chaleur sous l'autre soudure. Il étudia la marche du courant avec une aiguille aimantée convenablement placée.

M. Seebeck reconnut qu'en formant des circuits semblables avec tous les métaux, l'état électrique de chacun d'eux n'était pas le même que celui trouvé par Volta dans le contact.

Il observa aussi des courants de ce genre dans des barres de métal homogènes, d'une texture cristalline, dont toutes les parties n'avaient pas la même température, et crut y trouver l'explication des courants électriques du globe terrestre, à l'influence desquels M. Ampère attribue son action magnétique.

MM. Yelin, Marsch, Cumming (1), en 1823, s'occupèrent également des mêmes phénomènes, auxquels ils ajoutèrent de nouveaux développements. Le premier s'attacha particulièrement à déterminer l'influence de la nature et de la forme des métaux homogènes sur l'intensité et la direction des courants électriques. Les deux

---

(1) Bibl. univ., t. XXIV, p. 253; t. XXV, p. 108; t. XXVII, p. 199, et t. XXXIX, p. 268.

autres firent tourner autour des aimants des circuits thermo-électriques. Le général Zuylen van Nyevelt étudia les courants produits dans des assemblages de deux métaux, se touchant dans toute leur étendue ou dans quelques points seulement (1).

Au commencement de 1823, M. Œrstedt fit connaître en France les expériences de Seebeck (2).

Quelque temps après, MM. Fourier et Œrsted communiquèrent à l'Académie des sciences une suite d'observations sur les phénomènes thermo-électriques, dont ils tirèrent des conséquences générales, qui n'ont pas été sanctionnées toutes par l'expérience; ayant formé des piles thermo-électriques, en réunissant ensemble un certain nombre de barreaux d'antimoine et de bismuth, soudés les uns aux autres, ils chauffèrent les soudures alternatives et observèrent que la déviation de l'aiguille aimantée, quoique considérable, n'augmentait pas en raison du nombre des éléments. Quand on eut trouvé les moyens de mesurer avec exactitude l'intensité d'un courant, on trouva que ce résultat n'était exact que dans certaines limites. En ouvrant le circuit, ils ne purent recueillir de l'électricité avec tension, ni produire de décompositions chimiques, mais je suis parvenu à en obtenir, en soumettant à l'expérience des dissolutions facilement décomposables.

M. Bottot de Turin, l'année dernière, a décomposé l'eau et diverses dissolutions avec des piles thermo-électriques formées d'un très-grand nombre de fils de platine et de fer, placés les uns à la suite des autres (3). Je dois mentionner ici les résultats auxquels je suis parvenu dans des recherches suivies sur les phénomènes thermo-électriques.

M. Seebeck avait découvert que l'on peut produire un courant thermo-électrique dans un arc formé d'un

(1) Bibl. univ., t. XXXIII, p. 259.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 199.
(3) Bibl. univ., t. XLI, p. 337.

seul métal qui a une texture cristalline et dont toutes les parties ne possèdent pas la même température. Je fis voir (1) qu'en prenant un fil de métal, faisant chauffer l'un des bouts et l'appliquant sur l'autre qui était à la température ordinaire, on avait un courant qui allait ordinairement, pour certains métaux, de la partie chaude à la partie froide. Le courant était continu quand on réunissait les deux bouts au moyen de deux anneaux passés l'un dans l'autre et que l'on portait le foyer de chaleur à droite ou à gauche des points de jonction. En appliquant à la suite les uns des autres plusieurs fils de platine et chauffant convenablement les jointures alternatives, je parvins à former une pile thermo-électrique dans laquelle il n'entrait qu'un seul métal.

Pour étudier convenablement les phénomènes électriques, je construisis une table qui donnait immédiatement les rapports entre les déviations de l'aiguille aimantée dans le multiplicateur et les intensités correspondantes du courant (2). Je trouvai que, pour la plupart des métaux, l'intensité du courant croît proportionnellement à la température jusqu'à une certaine limite, mais que, dans des circuits formés de métaux non oxidables et dont le terme de fusion est très-éloigné, tels que le platine et le palladium, cette loi paraît se continuer très-loin. J'en profitai pour indiquer un moyen très-simple d'évaluer les températures les plus élevées en fonction des degrés du thermomètre ordinaire. Après avoir rappelé qu'une flamme en général est formée de plusieurs parties inégales, parmi lesquelles on en distingue aisément quatre : la première, à la base, qui est d'un bleu sombre et s'amincit à mesure qu'elle s'éloigne de la mèche; la seconde, qui est l'enveloppe

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIII, p. 135.
(2) *Idem*, t. XXXI, p. 371.

obscure au milieu de la flamme; la troisième, l'enveloppe brillante qui recouvre cette dernière et qui est la flamme proprement dite; enfin l'enveloppe peu lumineuse qui entoure la flamme; j'ai montré qu'en plaçant les points de jonction de l'appareil destiné à mesurer les hautes températures successivement dans ces différentes enveloppes, on avait des courants électriques dont les intensités correspondaient à des températures de 1350° 1080 et 780° pour celles des points qui forment la limite supérieure de la flamme bleue, là où l'air, encore chargé de tout son oxigène, commence à rencontrer la flamme, celles de la flamme proprement dite et de l'espace obscur autour de la mèche. Cette détermination a été faite en admettant toutefois que le rapport constant entre les températures et l'intensité des courants a encore lieu pour des températures élevées. Ces températures que j'ai ainsi déterminées sont celles qu'acquièrent les fils de platine plongés dans les diverses enveloppes; ainsi plus le diamètre sera petit, plus on s'approchera de celles du foyer.

Les métaux ont été classés, d'après leur nature thermo-électrique, dans l'ordre suivant : bismuth, platine, mercure, plomb, étain, or, argent, cuivre, zinc, fer et antimoine. Dans ce tableau, si l'on forme un circuit avec deux métaux placés à côté l'un de l'autre, et qu'on fasse chauffer l'une des soudures, celui qui est à gauche prend toujours celui qui est à droite de l'électricité négative. J'ai indiqué aussi l'anomalie que présente un circuit composé de fer et de cuivre. Lorsqu'on élève successivement la température de l'une des soudures de ce circuit, depuis o jusqu'à 300°, celle de l'autre étant constante, le courant chemine toujours dans le même sens; voici ce qui se passe : depuis o jusqu'à 140° de température, l'intensité du courant croît de la même quantité pour chaque accroissement égal de température; à partir de 140°, cet accroissement diminue assez rapidement, et à 300° il est à peine sensible. En continuant à chauffer, le courant

change de sens, c'est-à-dire que le fer devient négatif. M. Nobili (1), en répétant cette expérience, a reconnu que, dans les combinaisons thermo-électriques où il n'entre qu'un métal, il existe plusieurs métaux dans lesquels le courant va de la partie froide à la partie chaude, au lieu de la partie chaude à la partie froide, comme dans la plupart des métaux. Il cite particulièrement le zinc, le fer et l'antimoine. Il est parvenu aussi à produire des courants thermo-électriques dans les circuits humides (2), en fixant aux deux extrémités d'un multiplicateur deux bâtons d'argile humectés, dont l'un, fortement échauffé, était mis en contact avec l'autre, qui était resté à la température ordinaire. Cette expérience n'est pas sans intérêt pour la théorie du magnétisme terrestre.

Je repris de nouveau les phénomènes thermo-électriques dans l'espoir d'arriver aux causes d'où ils dépendent, et je fus conduit par-là à les analyser avec de grands développements (3). J'adoptai sur-le-champ le principe suivant, dont je démontrai l'exactitude par plusieurs expériences décisives. Quand on chauffe par une de ses extrémités une barre de métal, la propagation de la chaleur est toujours accompagnée d'une suite de decompositions et recompositions du fluide naturel de chaque particule telles, qu'il n'y a d'électricité libre qu'aux deux extrémités. La partie froide prend au foyer de chaleur l'électricité positive, et l'électricité négative est chassée dans tous les sens quand il n'y a pas d'action chimique. Ce principe est fécond en applications et explique pour quel motif on obtient ordinairement un courant dans les circuits d'un seul métal, quand on met en contact la partie chaude avec la partie froide. Il permet encore d'expliquer comment il se fait que, dans un circuit métalli-

(1) Bibl. univ., t. XXXVII, p. 118.
(2) *Idem*, t. XXXVII, p. 174 et 183.
(3) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 353, et t. XLVI, p. 265 et 337.

que parfaitement homogène, qui n'a ni soudure ni solution de continuité, s'il se trouve à la surface un renflement ou dans l'intérieur un corps ou une cause quelconque qui détermine une propagation de la chaleur un peu plus difficile d'un côté que de l'autre, là où est l'obstacle, il y a séparation des deux électricités. L'extrémité positive franchit toujours l'obstacle.

Nous avons vu, il y a un instant, qu'un circuit fer et cuivre présente une anomalie singulière quand on porte la température de l'une des soudures jusqu'au rouge naissant; cette anomalie existe aussi dans des circuits formés de zinc et or, zinc et argent.

Je me suis attaché en outre à déterminer le pouvoir thermo-électrique de chaque métal, c'est-à-dire la faculté qu'il acquiert, par la chaleur, d'émettre telle ou telle électricité en plus ou moins grande quantité, dans son contact avec un autre métal, suivant sa température. Pour comparer les pouvoirs thermo-électriques, il fallait opérer sur des circuits dans lesquels le pouvoir conducteur fût toujours constant. Je n'ai pas trouvé d'autre moyen que de former un circuit avec tous les fils de métal soumis à l'expérience; en maintenant à zéro toutes les températures, excepté celle des deux métaux dont on cherche le pouvoir thermo-électrique, on n'a plus alors à s'occuper du pouvoir conducteur. En expérimentant sur un circuit composé de fils de platine, d'or, d'argent, de cuivre, d'étain, de zinc et de fer, j'obtins les résultats suivants. Pour une température donnée de 20°, chaque métal acquiert une puissance ou action thermo-électrique telle, que l'intensité du courant produit par l'élévation de température d'une soudure est proportionnelle à la différence des quantités qui représentent chacune de ces actions dans les deux métaux. Ainsi, en désignant par P cette puissance et par x le pouvoir thermo-électrique du fer à 20° on a :

P. fer.................. x
P. argent.............. $x - 26{,}20$

P. or	x —	26,70
P. zinc	x —	26,96
P. cuivre	x —	27,96
P. étain	x —	31,24
P. platine	x —	36

On voit que si x était connu, on en déduirait le pouvoir thermo-électrique de tous les métaux; mais comme on ne peut y arriver directement, j'ai été obligé d'employer une méthode indirecte, qui n'est qu'approximative. Ayant remarqué que l'or, l'argent et le zinc possèdent des pouvoirs à peu près égaux, j'ai cherché parmi les propriétés calorifiques de ces métaux celles qui sont sensiblement les mêmes. Je n'ai vu que le pouvoir rayonnant pour la chaleur qui pût s'y rapporter. En admettant donc que la différence des pouvoirs rayonnants est une des causes qui déterminent l'intensité et le sens du courant, on a un moyen simple de déterminer la valeur de x. On a alors pour les pouvoirs thermo-électriques :

P. fer	133,50
P. argent	107,30
P. or	106,30
P. zinc	106,54
P. cuivre	105,54
P. étain	102,26
P. platine	97,50

Les effets électriques qui ont lieu pendant l'échauffement et le refroidissement des corps, m'ont fait naître plusieurs conjectures qui peuvent être prises en considération par les personnes qui s'occupent de l'application de l'électricité aux phénomènes naturels (1).

Considérons un instant une portion de l'atmosphère

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 372.

dans un calme parfait et ayant partout la même température, l'état d'équilibre de son électricité ne saurait être troublé; mais si, par une cause quelconque, il survient un courant d'air plus froid, qui pénètre cette portion, celle-ci se refroidira, prendra l'électricité négative, et l'autre l'électricité positive. Le contact des molécules étant de peu de durée, en raison de la vitesse du courant, chacune d'elles devra conserver une partie de l'électricité qui s'est dégagée pendant le changement de température. Si les portions qui se sont refroidies renferment des vapeurs aqueuses, elles se condenseront, s'empareront de l'électricité et formeront un nuage chargé d'électricité négative. Dans le cas où l'air froid contient aussi des vapeurs, on aura un nuage qui possédera l'électricité positive.

Dans un Mémoire (1) ayant pour titre : *Considérations générales sur les changements qui s'opèrent dans l'état électrique des corps par l'action de la chaleur du contact, etc.*, je me suis attaché de nouveau à étudier les effets de la chaleur sur le fluide électrique naturel. Les premiers physiciens qui se sont occupés de recherches de ce genre pensaient que la chaleur exaltait la force répulsive de chacun de deux fluides. Ils tirèrent une fausse conséquence de l'expérience qu'ils firent à ce sujet. En tenant compte des causes qui peuvent induire en erreur, j'ai montré qu'il n'en est pas ainsi ; car la chaleur ne modifie en rien les propriétés de l'électricité libre, qui est renfermée dans un espace dont elle ne peut sortir; mais il n'en est pas de même de son action sur le fluide neutre. J'ai essayé de vérifier par l'expérience si la chaleur ne produirait pas sur ce fluide un effet analogue à celui du clivage, c'est-à-dire si elle ne tendrait pas à modifier l'attraction des deux électricités et par suite à produire une recomposition continuelle d'une partie des deux fluides rendus libres à chaque

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVI, p. 265.

instant. Le principe que j'ai cité précédemment, relatif aux phénomènes électriques qui accompagnent la propagation de la chaleur dans les métaux, vient à l'appui de cette manière de voir. J'ajoutai de nouveaux faits pour démontrer l'exactitude de ce principe, et je crois que dans l'état actuel de la science, on ne peut concevoir aucun doute sur sa réalité. J'ai déja fait connaître les phénomènes thermo-électriques de tension dans le platine, à l'instant où on le touche avec un corps froid humide; je pris ce métal afin d'éviter les effets électro-chimiques. J'ai voulu aussi voir ce qui se passe dans plusieurs autres métaux. Le fer et le cuivre ont donné des résultats semblables, seulement il a fallu élever davantage leur température; mais comme il y a eu alors oxidation, les effets électriques ont pu être produits et par la différence de température et par l'oxidation: mais quand on a une série de corps qui présentent dans les mêmes circonstances des phénomènes semblables, on est porté à leur attribuer une origine commune, bien que quelques-uns de ces corps éprouvent des modifications auxquelles on pourrait rapporter ces phénomènes.

Quant au bismuth, à l'étain et à l'antimoine, les effets sont à peine sensibles. Il semble donc qu'il existe une ligne de démarcation bien marquée entre les métaux non oxidables et la plupart de ceux qui le sont, relativement à leurs propriétés thermo-électriques. Il peut se faire que cela tienne à ce que la chaleur exalte plus le pouvoir électrique des métaux électro-négatifs que celui des métaux électro-positifs, de la même manière que les corps qui sont ordinairement négatifs dans leur frottement sur d'autres corps, deviennent encore plus négatifs quand on élève leur température. J'ai discuté le mérite de cette conjecture, pour savoir jusqu'à quel point elle pouvait être admise. En me livrant à ces recherches, j'ai été conduit à un fait qui prouve que l'on doit se mettre en garde, dans les recherches relatives à l'électricité qui se dégage dans la combustion, contre les effets thermo-électriques produits dans des fils de pla-

tine que l'on plonge dans les flammes pour en recueillir de l'électricité.

La première fois que je m'occupai de recueillir cette électricité (1), je me bornai à dire qu'il se produit au contact des flammes et des lames métalliques un effet électrique dont on ne pouvait encore préciser au juste la cause; ce n'est que plus tard que je trouvai qu'une différence de température entre les deux bouts de la lame suffit pour donner des effets électriques appréciables au condensateur.

Je montrai que le pouvoir thermo-électrique de chaque métal, c'est-à-dire la faculté qu'il acquiert, par l'effet de la chaleur, d'émettre telle ou telle électricité, en plus ou moins grande quantité, dans son contact avec un autre métal, dépend, non-seulement du pouvoir rayonnant de chaque métal, mais encore de sa chaleur spécifique et de sa conductibilité électrique. Quoique l'on connaisse les causes qui concourent à l'effet général, on ne peut, dans l'état actuel de la science, déterminer la part que chacune d'elles y prend.

A la suite de ces recherches, je fus conduit à examiner de nouveau les phénomènes électriques que manifestent la tourmaline ainsi que les corps mauvais conducteurs, quand on élève leur température (2). Cette question avait déja occupé un grand nombre de physiciens. Haüy, qui attachait une si grande importance aux caractères physiques des minéraux, avait méconnu cependant la principale de ses propriétés. Je trouvai, comme Canton et Æpinus l'avaient observé avant moi, que la tourmaline ne devient électrique que lorsqu'elle est dans un état d'échauffement ou de refroidissement et qu'il y a changement de pôle, toutes les fois qu'elle passe d'un de ces états à l'autre. Je donnai la loi que suivent les effets électriques pendant le refroidissement,

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxxvi, p. 329.
(2) *Idem,* t. xxxvii, p. 5 et 355.

et je prouvai que l'on peut faire acquérir à ce minéral un seul pôle, en échauffant ou refroidissant l'une de ses extrémités, tandis que l'autre est maintenue à une température constante; de sorte que l'on ne peut attribuer l'absence d'un pôle au passage de l'état d'échauffement à celui de refroidissement. Je fis voir en même temps qu'il était facile de produire, dans de petits cylindres de certains verres, une polarité électrique, au moyen de l'action par influence d'un corps électrisé, laquelle polarité disparaissait aussitôt qu'on élevait la température, et se maintenait, au contraire, assez long-temps pendant le refroidissement.

Nous avons vu précédemment que j'étais parvenu, au moyen du multiplicateur, à mesurer les températures en fonction de degrés du thermomètre ordinaire. MM. Nobili et Melloni déterminèrent au contraire les plus basses températures en transformant le multiplicateur en un thermoscope d'une sensibilité extraordinaire (1). Cet appareil leur permit de constater la chaleur propre aux insectes, celle qui est produite dans la combustion lente du phosphore, ainsi que les pouvoirs réfléchissants et absorbants des différents corps. M. Melloni, plus tard, avec le même appareil, auquel il a apporté diverses modifications, a découvert des effets très-remarquables touchant l'action de certains corps cristallisés sur la chaleur obscure. Il a mesuré aussi la température des rayons colorés du spectre solaire et a déterminé la limite au-delà du rayon rouge, à laquelle son thermoscope cessait d'être affecté (2).

D'après les rapports nombreux qui existent entre la chaleur et l'électricité, on est assez porté à admettre que les effets produits par l'une et par l'autre peuvent être attribués à une cause commune, convenablement modifiée. Déja on est assez disposé à admettre que le magnétisme terrestre est produit par l'action des cou-

(1) Journ. de Phys. et de Ch., t. XLVIII, p. 198.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. LIII, p. 5.

rants thermo-électriques. D'un autre côté, il pourrait se faire, comme a cherché à le démontrer un habile physicien, M. Nobili (1), que les phénomènes électriques fussent dus à la différence d'action de la chaleur sur les corps.

On voit donc qu'on ne saurait trop multiplier les rapports entre les phénomènes de la chaleur et ceux de l'électricité, si l'on veut arriver à connaître s'ils dépendent ou non du même principe.

En même temps que j'étudiais les effets de la chaleur sur les corps bons ou mauvais conducteurs, je fus conduit à reprendre la question du dégagement de l'électricité, qui a lieu toutes les fois que les molécules des corps perdent leur position d'équilibre naturelle, par l'effet d'une cause quelconque (2).

Coulomb, qui portait dans toutes ses recherches un esprit philosophique, de la justesse et du tact, avait reconnu que, dans le frottement de deux corps, la surface dont les particules s'écartent le moins les unes des autres est disposée à prendre l'électricité positive. Il remarqua aussi qu'une compression passagère augmentait la tendance positive, tandis que la dilatation produisait un effet contraire. Une expérience intéressante, qui est due à M. Libes, vint confirmer ces observations. Ce professeur montra que lorsqu'on presse un disque de métal isolé sur une bande de taffetas gommé nouvellement préparée, on obtient des effets électriques inverses de ceux qui sont produits quand on passe avec frottement le disque sur la bande cirée. Cette expérience montre évidemment l'influence de la pression ou du rapprochement des parties sur le dégagement de l'électricité.

Plus tard, M. Haüy (3) indiqua la propriété dont jouit le spath d'Islande, de s'électriser par la plus légère

---

(1) Bibl. univ., t. XXXVII, p. 118.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVI, p. 113, 265 et 337.
(3) *Idem*, t. V, p. 95, et t. VIII, p. 383.

pression entre les doigts et de conserver long-temps son électricité, quand la pression est exercée avec une certaine force.

En 1823, ayant repris cette question (1), je démontrai qu'avec des précautions convenables, tous les corps jouissent de la propriété de s'électriser par pression. Ces précautions consistent à isoler convenablement les corps, pour qu'ils ne puissent laisser échapper l'électricité qu'ils ont acquise. Je fus conduit à ce principe général, que lorsque deux corps d'une nature quelconque, dont l'un est sensiblement élastique, sont isolés et pressés l'un contre l'autre, ils se constituent dans deux états électriques différents; mais qu'ils ne sortent de la compression, chacun avec un excès d'électricité contraire, qu'autant que l'un des corps n'est pas bon conducteur. Dans le cas où l'un et l'autre sont bons conducteurs, il faudrait que la vitesse de séparation fut excessivement grande, pour empêcher que les deux électricités ne se recombinassent.

Muni d'une balance électrique douée d'une grande sensibilité et dont le fil de platine était, par conséquent, d'un très-petit diamètre, je déterminai les lois du dégagement de l'électricité par la pression; l'intensité de l'électricité dégagée est proportionnelle à la pression, quand celle-ci n'est pas capable de désorganiser les corps ou de changer leur état moléculaire.

En étudiant les phénomènes électriques que présentent les corps régulièrement cristallisés, je reconnus qu'il y avait dégagement d'électricité, toutes les fois que l'attraction moléculaire était détruite par une cause quelconque entre deux molécules.

Pour établir de nouveaux rapports entre la pression et le dégagement de l'électricité qui est concomitant, j'ai fait une expérience qui m'a conduit au fait suivant : si deux corps se trouvent sous l'action d'une certaine pression

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 5; t. XXXVI, p. 265.

et qu'on vienne à diminuer celle-ci sans que le contact change, l'effet de la pression perdue subsiste pendant un temps qui est d'autant plus long que les corps pressés sont moins conducteurs de l'électricité. Mais si l'on comprime de nouveau le corps et que l'on renouvelle ce jeu de pressions moindres et de pressions plus considérables, on n'a toujours que l'électricité qui est due à la pression la plus forte.

La vitesse de séparation, la force de compression, ne sont pas les seules circonstances qui modifient les effets électriques de pression; l'état hygrométrique des corps, l'état de leur surface et leur température exercent aussi une grande influence.

En général, il paraît que toutes les fois qu'une cause quelconque tend à augmenter, à diminuer ou à détruire tout-à-fait l'attraction moléculaire, il y a dégagement d'électricité, de même que lorsque les éléments des molécules sont séparés par d'autres affinités; mais si les molécules ne sont pas séparées, il y a recomposition immédiate des deux électricités. Il en est de même lorsque l'on élève la température d'un corps. Cette propriété rentre dans la production des effets électriques qui ont lieu quand la chaleur se propage dans une lame de métal.

Quand la séparation des molécules est extrêmement rapide, la tension des deux électricités peut être assez grande pour qu'il se produise de la lumière. Peut-être est-ce à une cause semblable que l'on doit attribuer la lumière qui est quelquefois produite quand d'énormes blocs de glace viennent se heurter dans les mers polaires.

J'ai rapporté à une cause semblable les phénomènes électriques qui sont produits lorsque, ayant plongé certaines substances dans le mercure, on les en retire plus ou moins rapidement; j'en ai fait l'application aux phénomènes qui ont été décrits avec soin par M. Dessaignes (1) et observés pour la première fois par Can-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. II, p. 59.

ton. Je crois avoir donné une théorie satisfaisante des anomalies que présente ce mode d'électrisation.

Je m'occupai ensuite du dégagement de l'électricité par frottement dans tous les corps, d'abord dans celui des métaux les uns contre les autres (1). Ayant cherché à vérifier le fait que M. Gehlen avait annoncé, qu'il se produit un courant électrique en posant simplement l'une sur l'autre deux lames de bismuth et d'antimoine, liées entre elles par le fil d'un multiplicateur, je reconnus que le courant n'avait pu être produit que par une différence de température entre les deux métaux ou bien par un léger frottement qu'ils avaient éprouvé, à l'instant où on les avait mis en contact. Je fus ainsi conduit à découvrir que l'on détermine un courant électrique dans un fil conducteur, aux extrémités duquel on fixe deux lames de métal différent, que l'on frotte l'une contre l'autre; j'ai formé ainsi un tableau dans lequel chaque métal est positif par rapport à ceux qui le suivent; tableau qui est précisément le même que celui qui indique l'ordre de leurs facultés thermo-électriques. Cette identité devait naturellement faire croire que la chaleur, qui se dégage dans le frottement, était la cause des effets thermo-électriques, mais je me suis assuré, par une expérience très-simple, qu'il n'en est pas ainsi; si l'on frappe fortement l'une contre l'autre, à coups redoublés, les deux lames de métal, de manière à les échauffer bien plus que lorsqu'on les passe légèrement avec frottement l'une sur l'autre, on ne produit aucun effet. Il paraît donc résulter de là que lorsqu'on ébranle les molécules des corps, il y a et dégagement de chaleur et dégagement d'électricité, deux effets concomitants qui viennent encore à l'appui du principe général qui a été établi précédemment.

Il n'est pas absolument nécessaire que les deux lames soient de métal différent; car si l'on prend deux lames

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 113 et t. XLVII, p. 43.

d'antimoine ou d'un autre métal, et que l'on frotte le bout de l'une sur toute l'étendue de la surface de l'autre, on a un courant qui indique que la surface dont les parties ont été le plus ébranlées et se sont échauffées davantage a pris l'électricité négative.

Si l'on veut obtenir des effets électriques de tension, il faut s'y prendre d'une autre manière. Nous avons déja vu que, plus les particules d'un corps éprouvent de déplacements, plus elles tendent à prendre l'électricité négative. Si donc l'on veut avoir des effets de tension dans le frottement de deux métaux, il faut exalter, dans l'un des deux, le pouvoir électrique; on y parvient en réduisant l'un d'eux en limailles plus ou moins fines, que l'on projette rapidement sur des lames de métal.

Voici les résultats principaux que j'ai obtenus: les limailles métalliques, quand elles tombent sur une lame de même métal, ont une tendance à prendre l'électricité négative, mais cette tendance n'empêche pas que la limaille d'un métal positif ne soit positive par rapport aux métaux les plus négatifs (1). On voit donc encore ici que plus les surfaces sont ébranlées et s'échauffent, par conséquent davantage, plus elles sont aptes à prendre l'électricité négative.

Si l'on n'obtient pas des effets de tension, dans le frottement de deux métaux, on doit attribuer ce résultat négatif à la recomposition immédiate des deux électricités, recomposition qui ne peut avoir lieu en opérant d'après la méthode que j'ai indiquée.

Je me suis attaché à démontrer (2) que les phénomènes électriques, dans cette circonstance, dépendent d'une différence dans le mode d'agrégation des molécules des surfaces soumises à l'expérience.

La chaleur qui se dégage dans le frottement des lames et des limailles, ne peut être la cause du dégage-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 131.
(2) *Idem*, t. XLVII, p. 128 et suiv.

ment. Pour le prouver, j'ai fait un certain nombre d'expériences, dans lesquelles j'ai élevé successivement la température des limailles et des lames, et les conséquences que j'en ai tirées m'ont mis à même d'attribuer les effets produits à une différence de structure.

Pour montrer jusqu'à quel point l'état moléculaire influe sur les phénomènes dont il est ici question, j'ai soumis le frottement des limailles sur les lames à un mode d'action régulier qui a permis d'opérer toujours dans les mêmes circonstances. On y parvient, au moyen d'une horloge à ressort qui imprime un mouvement rapide de rotation à une tige verticale, à l'extrémité de laquelle on fixe horizontalement une lame de métal. Si l'on projette sur cette lame des limailles quelconques, elles sont aussitôt lancées à une certaine distance, avec une force qui dépend de la vitesse de rotation; le contact n'est donc qu'instantané. En posant l'appareil sur un électroscope, on reconnaît sur-le-champ l'électricité qu'a prise la lame en mouvement. Parmi les résultats curieux que l'on obtient, je me bornerai à rapporter ceux qui suivent :

La limaille de zinc ne donne aucune électricité, quand elle tombe sur une lame de même métal en mouvement, tandis qu'elle en reçoit une bien marquée, qui est la positive, quand la lame, étant en repos, on projette dessus de la limaille. Cette expérience prouve que la vitesse de rotation imprimée à la lame de zinc augmente sa tendance négative; aussi, pour conserver à la limaille sa faculté négative, il faudrait pouvoir la projeter dessus en une poudre impalpable qui ne s'attachât pas à la surface.

M. Auguste Delarive (1) a fait aussi quelques recherches sur les effets électriques de tension qu'on obtient en frottant les métaux avec des corps imparfaits, tels

(1) Mémoires de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. VI, p. 176.

que le bois, le liége, l'ivoire, etc. Il a trouvé que presque tous les métaux, et particulièrement les moins oxidables, prennent toujours l'électricité positive et quelquefois la négative. Le bismuth et le plomb font exception et prennent toujours l'électricité positive. Ce qui lui a paru le plus singulier, c'est de voir l'antimoine et le bismuth acquérir, par le frottement d'un conducteur imparfait, chacun une électricité contraire à celle qu'il développe quand, frottés l'un contre l'autre, ils produisent un courant électrique, dans lequel le premier est positif et le second négatif. Il attribue la nature du principe électrique dont ces métaux se chargent, pendant le frottement des corps mauvais conducteurs, à la légère couche d'oxide qui ternit promptement la surface des métaux oxidables.

§ V. *Discussion relative à la théorie du contact.*

Dans mes premières recherches sur les phénomènes électro-chimiques j'annonçai, comme je l'ai déja dit, que l'acide, dans sa réaction sur une base, prend l'électricité positive et celle-ci l'électricité négative, en ajoutant que ce résultat est inverse de celui que l'on obtient quand le contact n'est pas suivi d'une action chimique. Pour expliquer cette différence je m'appuyai sur la théorie de M. Ampère, qui admet que les molécules des corps sont douées d'une électricité qui leur est propre et dépendante de leur nature (1); effectivement, les molécules acides étant négatives et environnées d'une atmosphère d'électricité positive, et les molécules alcalines éminemment positives et entourées d'un atmosphère négative, à l'instant de la combinaison les deux atmosphères forment du fluide neutre, de sorte que les premières fournissent aux corps conducteurs avec lesquels elles sont en contact de l'électricité positive et les autres de l'électricité négative; si le contact n'est pas suivi d'une action

(1) Page 176 de cette notice.

chimique, une partie des atmosphères se recombinant à chaque instant, les mêmes molécules reprennent aux conducteurs de l'électricité positive, aux dépens de leur fluide naturel, de sorte que l'électricité négative est repoussée, d'où résultent des effets électriques inverses de ceux qui ont lieu dans les combinaisons chimiques.

Tout en adoptant provisoirement la théorie de M. Ampère, je ne me dissimulai pas les objections que l'on pouvait y faire et je cherchai dans de nouvelles expériences les moyens d'y répondre ou de modifier mes idées sur les effets de contact. J'ai déja dit que les travaux de M. Delarive m'avaient déterminé, non pas à abandonner entièrement la force électro-motrice de Volta, mais à restreindre considérablement son influence dans les phénomènes électro-chimiques. C'est dans le but de m'éclairer sur ce point délicat de la science que j'étudiai les courants électriques (1) qui sont produits dans la réaction des dissolutions les unes sur les autres et sur les métaux, ainsi que lorsque l'on plonge deux métaux différents dans un ou plusieurs liquides séparés par un diaphragme en baudruche. Je plaçai dans chaque compartiment, soit un mélange d'eau et d'acides, soit une dissolution saline, soit même dans la case où plongeait la lame de cuivre, du nitrate de cuivre, et dans celle où se trouvait le zinc, du sulfate de zinc. Ayant mesuré dans chaque cas particulier l'intensité du courant, je trouvai que le maximum avait lieu quand le cuivre plongeait dans une dissolution de nitrate de cuivre, et le zinc dans une dissolution de sulfate de ce métal. Mais le courant éprouvant constamment des variations, j'indiquai le moyen de rendre son intensité à peu près constante pendant une demi-heure. Ainsi toutes les fois que l'on aura besoin de courants électriques constants avec une intensité faible, on pourra employer l'appareil que j'ai décrit. Si l'on réunit plusieurs éléments disposés comme

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 5.

je viens de le dire, pour former une pile, loin d'avoir un accroissement dans l'intensité du courant, on a plutôt une diminution. Cela tient sans doute au défaut de conductibilité dans l'appareil par suite des diaphragmes interposés et des changements fréquents de conducteurs liquides.

M. Auguste Delarive entreprit de démontrer qu'il était impossible d'expliquer la production de l'électricité voltaïque en partant uniquement du principe de l'action électro-motrice produite dans le contact des métaux; principe que Wollaston avait prouvé aussi ne pas être suffisant pour rendre compte de tous les effets qu'il avait observés.

On a vu précédemment que, dans la réaction d'un acide sur un alcali, le premier prend l'électricité positive et le second l'électricité négative. Il y a quelquefois des exceptions à cette loi, lorsque les bases sont à l'état solide et que l'action chimique est énergique. Dans ce cas, il y a des effets thermo-électriques qui viennent compliquer les effets électro-chimiques. M. Nobili a observé des effets de ce genre dans quelques cas particuliers (1).

M. Delarive revint sur la théorie de la pile et essaya de prouver que l'action électro-motrice n'existait pas, et que pour qu'il y eût dégagement d'électricité, il fallait une action calorifique, mécanique ou chimique. Pour donner au lecteur une idée nette de la manière dont le physicien genevois conçoit le phénomène, je rapporte ici textuellement le passage relatif à cette question (2) que je trouve dans l'*Esquisse historique des principales découvertes faites dans l'électricité depuis quelques années.*

« J'ai observé en particulier que lorsqu'on forme un « couple voltaïque avec deux corps solides différents et « un seul liquide, c'est toujours le plus attaqué qui est

(1) Bibl. univ., t. XXXVII, p. 26 et 136.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVII, p. 225; t. XXXIX, p. 297. Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. IV, p. 285, et t. VI, p. 149.

« positif. Wollaston avait déja tiré cette conséquence de « ses expériences. J'avais aussi déterminé plusieurs cas « dans lesquels, quoique les circonstances les plus favo- « rables, suivant la théorie du contact, fussent réunies, « il n'y avait pas d'effet électrique, et cela parce qu'il « n'y avait pas d'action chimique et qu'on s'était en « même temps mis à l'abri de toute action calorifique « ou mécanique. Enfin j'avais montré que les effets élec- « triques de tension, que l'on obtient par le simple con- « tact de deux métaux hétérogènes sans l'intervention « d'aucun liquide, sont dus aussi à l'action chimique, « du moins quand ils ne proviennent pas d'une action « calorifique ou mécanique. Cette action chimique est « celle qu'exercent toujours, au moins sur l'un des mé- « taux du couple, l'air, le gaz et les vapeurs aqueuses « dont ils sont entourés, action qui, sans être très-forte, « n'en existe pas moins, ainsi qu'on peut s'en assurer « directement et dont il est difficile, comme le prouve « l'expérience, de se mettre complétement à l'abri. »

Cette dernière idée de faire dépendre de l'action chimique l'électricité que l'on retrouve dans un couple voltaïque plongé dans l'air ou dans un gaz, est due à M. Delarive. Quoiqu'elle soit une conséquence de la théorie électro-chimique adoptée par Fabroni et Wollaston, on ne voit pas que ce dernier physicien en ait fait mention.

M. Pfaff (1), fidèle à la doctrine qu'il avait professée depuis les premières découvertes de Galvani, entra de nouveau en lice pour combattre M. Delarive, comme il le fit toutes les fois qu'on voulut renverser la théorie de contact. Il avança particulièrement dans son Mémoire qu'il n'y avait aucun effet électrique de contact dans le vide et dans le gaz bien secs.

M. Marianini (2) prit également la défense de la théo-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 236.
(2) *Idem*, t. XLV, p. 43.

rie de Volta et chercha à prouver qu'il était impossible d'expliquer, par l'action chimique seule, les propriétés électriques de la pile.

M. Parrot (1), qui fut aussi un des premiers à se prononcer contre la théorie de Volta, examina de nouveau les conséquences que M. Marianini tira de ces expériences, et se rangea de l'avis de M. Delarive, c'est-à-dire, qu'il ne vit pas de nouveaux motifs pour modifier les principes qu'il avait professés plus de trente ans avant. Il ajouta : « J'ose croire que s'il eût connu à fond ma théorie, comme je l'ai publiée il y a bientôt 30 ans, ce physicien distingué eût réduit à un très-petit nombre les objections qu'il a consignées dans son Mémoire. » Je trouve dans le travail de M. Parrot un fait qui lui est propre et qu'il revendique par conséquent à ceux qui le lui ont pris; c'est que l'eau, lorsqu'elle est chimiquement pure et privée d'air, n'oxide ni le fer ni aucun des métaux oxidables, et que ces métaux ne s'altèrent sous l'eau qu'en raison de l'oxigène de l'air dont elle est imprégnée.

M. Delarive répondit, après avoir fait de nouvelles expériences, que tous les physiciens qui avaient cité des faits contraires à sa doctrine, n'avaient pas pris, dans leurs expériences, les précautions nécessaires pour se garantir de l'action chimique.

Je me trouvai naturellement compris dans le nombre de ceux dont M. Delarive cherchait à combattre les idées théoriques; c'est alors que je me livrai de nouveau à des recherches sur les effets de contact dont je vais rapporter ici les résultats principaux.

J'adoptai d'abord complétement l'opinion de M. Delarive, qu'il y a production d'électricité toutes les fois qu'il y a action chimique, calorifique ou mécanique. Les nombreuses expériences que j'avais faites depuis plusieurs années sur ce sujet, et avant que M. Delarive s'occupât de cette question, ne laissaient au-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVI, p. 361.

cun doute à cet égard. Il restait donc à discuter l'existence de la force électro-motrice admise par Volta, Pfaff, Davy, Marianini et moi, et combattue par Fabroni, Parrot, Wollaston et M. Delarive. Dans le commencement de mes recherches, j'adoptai l'opinion que Davy avait professée hautement, savoir que l'action chimique était indispensable pour que l'électricité développée dans le simple contact fût transportée. Cette manière de voir se trouvait être un *mezzo termine* entre l'opinion des partisans du contact et celle de l'action chimique. Mais ayant pensé que cette question ne pouvait plus être débattue, même en n'admettant pas la théorie de Davy, au moyen du multiplicateur, je m'attachai à voir ce qui se passe dans le contact en prenant toutes les précautions possibles pour me garantir des actions mécaniques, calorifiques ou chimiques, contre lesquelles M. Delarive m'avait reproché de ne pas m'être mis en garde.

On est dans l'usage d'employer, pour recueillir l'électricité produite dans le contact, des plateaux condensateurs en cuivre, qui sont plus ou moins attaquables par les liquides adhérant aux doigts. Pour éviter cet inconvénient, j'opérai avec des plateaux d'or ou de cuivre plaqués avec des lames d'or. D'un autre côté, au lieu d'étudier les effets électriques de contact dans des métaux, qui sont plus ou moins oxidables dans l'eau ou dans l'air, je m'attachai particulièrement à opérer sur des substances minérales conductrices de l'électricité, qui, exposées depuis des siècles aux intempéries des saisons, n'ont éprouvé aucune altération à leur surface. Ces corps sont le platine, l'or, le peroxide de manganèse, le fer oxidé magnétique, le mercure argental, le persulfure de fer, le carbure de fer, etc. Je trouvai d'abord avec mon appareil, auquel j'avais donné un très-grand degré de sensibilité, que le platine et l'or ne donnaient lieu à aucun dégagement d'électricité par leur contact mutuel. Ce fait, sur lequel M. Delarive s'est appuyé plus tard pour défendre sa théorie, est opposé évidemment à celle de Volta. J'avais également

trouvé qu'en plongeant ces deux métaux dans un liquide qui n'était pas capable de les attaquer, on n'avait pas non plus de courants; mais, d'un autre côté, le platine et l'or sont positifs par rapport au peroxide de manganèse et au carbure de fer, et en général le peroxide de manganèse est négatif, dans son contact avec tous les autres corps; or, rien ne peut faire supposer jusqu'ici que ce corps éprouve une action chimique au contact de l'air. Les précautions ayant été prises pour qu'il n'y ait ni choc ou action mécanique, cette substance, ainsi que d'autres de même nature, donne donc des résultats favorables à la théorie du contact. J'avoue que, sans ces derniers résultats, je me serais rangé à l'avis des partisans de l'action chimique, quoique mes idées sur la constitution des corps me portassent à admettre que le contact doit dégager de l'électricité. Ainsi donc jusqu'ici je n'ai pas renoncé tout-à-fait à son action. Je dois ajouter encore que l'on doit à M. Pelletier une expérience qui montre évidemment que le cuivre et le zinc, dans leur contact mutuel, donnent lieu à des effets électriques qui sont indépendants de toute action chimique. Je ne puis donner une idée de cette expérience sans une figure.

§ VI. *Procédé pour garantir le cuivre de l'action corrosive de l'eau de mer; opinion de M. Dumas sur la théorie électro-chimique; théorie de Grotthus combattue par M. Delarive.*

Davy, qui, dans toutes ses recherches scientifiques, ne perdait jamais l'occasion d'appliquer aux arts les résultats auxquels il parvenait, indiqua un moyen de garantir le cuivre de l'action corrosive de l'eau de mer, moyen qui n'a pas eu le succès que l'on s'en promettait (1). Ayant été consulté par l'amirauté anglaise sur les moyens de garantir le cuivre qui forme

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVI, p. 84.

le doublage des vaisseaux, de l'action corrosive de l'eau de mer, il conçut l'idée d'employer à cet effet les propriétés électriques qu'acquiert le cuivre quand il est en contact avec un métal plus oxidable que lui. Après quelques essais, il trouva qu'un morceau de zinc, gros comme la pointe d'un petit clou de fer, était suffisant pour conserver 40 pouces de cuivre. Il conclut de là qu'au moyen de petites quantités de zinc, de fer ou de fonte, placées en contact çà et là sur le doublage en cuivre des vaisseaux, on empêcherait la corrosion; mais les essais qui furent faits à diverses reprises n'ont pas répondu tout-à-fait à son attente. D'après les premières expériences, il avait déja annoncé qu'il se déposait sur le cuivre, en raison de son état négatif, les bases des sels qui se trouvaient dans l'eau de mer. Plus tard on reconnut que des feuilles de cuivre défendues à peu près sur $\frac{1}{35}$ ou $\frac{1}{80}$ de leur surface, et qui étaient restées exposées pendant 4 mois à l'action de l'eau de mer, étaient recouvertes d'une matière blanche, composée particulièrement de carbonate de magnésie et de carbonate de chaux. Sur le doublage garanti de deux bateaux, on trouva que le métal s'était recouvert également de carbonates de chaux et de magnésie, et en outre de plantes et d'insectes qui avaient augmenté leur poids et retardé leur marche. Ce résultat fut cause que l'on abandonna ce mode préservatif. Davy cependant ne se regarda pas comme vaincu, et il est mort persuadé que l'on pourrait prévenir cet inconvénient, en rendant le cuivre négatif au point seulement de le garantir sans qu'il se chargeât de corps étrangers. Si Davy eût voulu reconnaître les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, il aurait indubitablement modifié ses idées à cet égard. Il nous est impossible de nous étendre davantage sur ce sujet.

On a fait en France, dans ces derniers temps, diverses tentatives sur l'emploi de doublage métallique, peu altérable par l'eau de mer. Cette question est d'une trop grande importance pour les nations maritimes,

pour que l'on n'ait pas essayé de la résoudre. On a eu recours au doublage en bronze, qui commence à être employé dans notre marine. Les expériences qui ont été faites en France (1), en Angleterre, depuis plusieurs années, par M. Robert, sous-ingénieur de la marine, et par M. Brunel, viennent confirmer les avantages que présente cet alliage. Il semblerait que ces deux métaux conservent dans leur combinaison, les propriétés électriques dont ils jouissent quand ils sont en contact. Au surplus, cette conséquence est conforme à la théorie, car ces propriétés devraient être les mêmes, si la force de cohésion, qui joue un grand rôle quand les molécules sont réunies, ne venait pas les masquer.

Une des recherches qui intéressent le plus la physique et la chimie, c'est celle qui est relative à l'état des atomes, avant et après leur combinaison, et aux modifications qu'ils éprouvent de la part de la chaleur. L'action des particules les unes sur les autres et la permanence de leur union pendant la combinaison sont-elles dues uniquement à des actions électriques ou à des forces dont la nature nous est inconnue? C'est une question vitale pour la physique atomistique. Toutes les probabilités sont en faveur des forces électriques, mais les faits ne sont pas encore assez nombreux pour que l'on puisse adopter définitivement une théorie à cet égard. On ne peut faire encore que des conjectures plus ou moins hasardées. Passons en revue celles qui ont été faites dans le cours de cette période.

La théorie de M. Ampère était celle qui rendait le mieux compte de la permanence des combinaisons, mais elle avait besoin de nouveaux développements, pour qu'elle pût expliquer différents phénomènes chimiques; elle ne faisait pas mention, par exemple, de l'influence du nombre des atomes dans les combinaisons. M. Du-

(1) Annales maritimes. Avril 1833.

mas a réparé cette omission; cet habile chimiste (1) part du principe que deux corps se constituent dans deux états électriques différents par leur contact mutuel et que le même effet doit se reproduire avec une grande énergie, à l'instant où deux molécules se superposent pour entrer en combinaison, parce qu'il y a alors un contact plus immédiat. En même temps que ce mouvement électrique se produit, il y a un dégagement de chaleur plus ou moins sensible. La théorie électro-chimique qui explique ces effets, ajoute-t-il, ne peut être adoptée qu'autant qu'elle nous dira comment il se fait que les molécules restent unies après. D'un autre côté, l'électricité est-elle la seule force qui intervienne dans ces phénomènes? On sait que l'attraction générale n'intervient que d'une manière assez vague dans l'action des molécules les unes sur les autres, tandis que ces mêmes molécules n'éprouvent jamais de déplacement sans le concours de la chaleur, de la lumière, ou de l'électricité. Voici maintenant son opinion sur l'origine électrique des phénomènes chimiques. Il part d'abord du principe, qui a été adopté par Davy et Berzelius, que la plupart du temps, quand deux électricités contraires se neutralisent, il y a dégagement de chaleur et de lumière; or, comme il arrive la même chose quand deux corps se combinent, surtout quand la combinaison est vive, on peut déja supposer que dans ce cas-ci il y a des effets électriques semblables aux précédents. D'un autre côté, après avoir observé que des combinaisons étaient détruites sous l'influence des forces électriques, on a dû en conclure que les deux sources d'électricité restituaient aux molécules l'électricité qu'elles avaient perdue à l'instant où elles se sont combinées. Il examine ensuite les bases de la théorie de M. Ampère, et les trouve suffisantes pour rendre compte

---

(1) Traité de chimie appliquée aux arts, t. 1, p. 55.

des effets généraux relatifs à la permanence des combinaisons.

Après avoir analysé les phénomènes de décomposition produits par la pile, il discute les objections que l'on a faites à la théorie de M. Ampère, et dont nous avons déja parlé. Il montre comment l'objection principale tomberait devant l'hypothèse d'un seul fluide. Il fait une autre objection qui n'avait pu être résolue jusqu'ici; le chlore et l'oxigène sont négatifs par rapport au calcium, dit-il; de plus, relativement à ce corps, l'oxigène doit être plus négatif que le chlore, et cependant on sait que le chlore chasse l'oxigène de l'oxide de calcium. Les affinités ne rendent pas raison non plus de ce fait; mais il pense, et nous partageons son opinion, que l'on peut remonter à la cause de ces effets, en prenant en considération le nombre des molécules ou les quantités absolues d'électricité qu'elles renferment. Il résulte de là que, dans l'opinion de M. Dumas, les actions chimiques ne dépendent pas seulement des rapports électriques des molécules, mais encore du nombre de ces molécules et de leur position relative.

Il est porté à croire, comme le pense M. Ampère, que l'atome acide est éminemment électro-négatif, et se débarrasse dans sa combinaison avec un atome de base de son atmosphère positive, de la même manière que l'atome de base abondonne son atmosphère négative.

Aussitôt que l'on eut découvert les décompositions chimiques par la pile, on imagina des théories pour expliquer ce phénomène; parmi celles qui parurent on distingua particulièrement celle de Grotthus, dont j'ai essayé de donner une idée précédemment. M. Delarive, dans le cours de ses recherches électro-chimiques, a repris cette question dans un Mémoire (1) où il a étu-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 190.

dié les circonstances qui accompagnent et qui facilitent les décompositions chimiques. Il s'est attaché d'abord à démontrer que l'on ne peut admettre, comme Volta l'a avancé, que le liquide interposé entre les deux pôles d'une pile se partage en deux portions, qui ont chacune un état électrique différent, et que les particules des corps possédant des électricités opposées se séparent par l'effet des tensions électriques de ces deux portions, attendu que l'on ne peut reconnaître aucune trace de tension appréciable dans une partie quelconque du liquide et que l'emploi d'un liquide bon conducteur tend à augmenter la décomposition.

Abordant ensuite la théorie de Grotthus, il pense qu'elle ne doit pas être admise dans tous les cas, puisqu'elle ne peut expliquer, selon lui, la propriété dont jouissent les courants de transporter, au travers de plusieurs substances, d'autres substances qui ont pour elles une grande affinité, sans que celles-ci soient arrêtées. M. Delarive suppose qu'à l'instant où la pile fonctionne, il s'établit deux courants; que celui qui sort du pôle positif s empare immédiatement de l'hydrogène et des bases pour lesquelles il a une grande affinité, et qu'il les dépose en entrant dans la lame négative, qui ne peut leur livrer passage; le courant négatif produit un effet semblable sur l'oxigène et les acides à l'autre pôle. Chaque courant rencontre-t-il sur sa route une substance qui a plus d'affinité pour celle qu'il transporte que le courant pour celle-ci, il l'abandonne et il se forme un composé. Quand les courants rencontrent sur leur route un conducteur métallique interposé dans le liquide, comme ils ne peuvent le traverser avec leur charge, ils l'abandonnent avant d'entrer dans le métal. M. Delarive a expliqué par ce moyen comment l'intensité absolue des courants exerce une grande influence sur leur faculté à séparer et à transporter les éléments.

Ce même physicien en s'occupant des effets calori-

fiques de la pile (1) a démontré, comme Davy l'avait déja fait, mais avec plus de développements, que la chaleur se manifeste toujours dans un conducteur quelconque, métallique, liquide ou mixte, là où le courant éprouve le plus de résistance, c'est-à-dire au passage d'un conducteur dans un autre, et que l'on peut obtenir de grands effets de chaleur en multipliant les résistances. Il est parvenu, par ce moyen, en introduisant dans un liquide un grand nombre de compartiments en baudruche, à l'échauffer jusqu'à le mettre en ébullition, tandis que la température ne s'élève que de quelques degrés quand le courant est continu; c'est pour le même motif que, dans les conducteurs formés de plusieurs métaux, la température est la plus élevée aux points de jonction.

§ VII. *Des phénomènes que présente l'électricité dans son passage à travers les corps.*

Lorsque le fluide électrique traverse un corps conducteur, il agit comme force chimique et comme force mécanique; les phénomènes qui en résultent sont de la plus haute importance pour la théorie électro-chimique. C'est ce motif qui a engagé les physiciens à reprendre de nouveau la question de la conductibilité électrique que Priestley et Davy avaient déja traitée. En examinant le procédé que ce dernier physicien avait employé, je vis sur-le-champ ce qu'il avait de défectueux et le remplaçai par un autre qui ne présente plus les mêmes inconvénients (2), puisque j'évitai les variations continuelles qui surviennent dans l'action de la pile et dont Davy n'avait pas tenu compte. L'appareil dont j'ai fait usage est un multiplicateur à deux fils parfaitement égaux et enroulés de la même manière; il en résulte que, lorsqu'ils sont

(1) Bibl. univ., t. XL, p. 40. Annal. de Ch. et de Phys., t. XL, p. 371.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXII, p. 420.

traversés chacun par un courant d'égale intensité, mais dirigé en sens contraire, l'aiguille aimantée n'éprouve aucune déviation; mais pour peu que l'un des courants soit plus fort que l'autre, l'aiguille se meut, et le sens de la déviation indique aussitôt lequel des deux courants l'emporte sur l'autre. Maintenant si l'on fait communiquer chacun des pôles d'une pile avec deux bouts de ces fils, de manière à avoir deux courants égaux et dirigés en sens inverse, rien ne sera plus facile, en interrompant les fils et en en substituant d'autres dans l'intérieur, de comparer le pouvoir conducteur de ces derniers. En opérant ainsi, j'ai reconnu, comme Davy l'avait trouvé, que la conductibilité électrique est en raison inverse de sa longueur et directement proportionnelle à sa masse. J'ai pu déterminer aussi le pouvoir conducteur de chaque métal, en comparant ensemble deux fils de métal différent, de longueur et de grosseur inégales.

Voici les pouvoirs conducteurs des métaux trouvés par Davy, en supposant que la faculté du platine soit représentée par 100 :

Argent....	600	Étain......	109
Cuivre....	550	Platine....	100
Or........	400	Fer.......	82
Plomb.....	380		

Les pouvoirs que j'ai déterminés, en représentant également celui du platine par 100, sont :

Cuivre...	609	Étain....	94	Mercure..	21
Or......	571	Platine...	100	Potassium.	8
Argent...	447	Fer......	94		
Zinc.....	174	Plomb....	50		

M. Pouillet a cru devoir ne pas adopter ces nombres ainsi que ceux de M. Davy; il a même nié l'exactitude de la loi de la conductibilité en raison inverse de la longueur. Je ne dis pas qu'elle soit exacte pour toutes les

longueurs de fils et toute espèce de courants d'une intensité quelconque, mais je puis assurer qu'elle est exacte dans les limites où nous avons opéré, Davy et moi. Il reconnaît que la conductibilité est proportionnelle à la section des fils, depuis le diamètre le plus fin jusqu'au diamètre de trois lignes environ. Quant à la loi en raison inverse de la longueur des fils, il prétend qu'elle n'est exacte que lorsqu'on tient compte de la résistance qu'éprouve l'électricité à traverser le liquide qui sépare les éléments de la pile et à parcourir les divers conducteurs qui doivent l'amener aux fils directement soumis à l'observation.

Au surplus, voici les valeurs qu'il assigne aux pouvoirs conducteurs des métaux :

Argent à 0,986..	860	Rosette.........	224
Cuivre rouge....	738	Laiton..........	194
Argent 1er titre..	656	Fer.............	121
Or fin..........	623	Or à 18 carats...	109
Argent 2e titre...	569	Platine.........	100

Plus tard M. Ritchie, en se servant d'un multiplicateur de torsion pour comparer les pouvoirs conducteurs des fils métalliques et des dissolutions acides, n'est pas arrivé non plus à la loi que nous avons donnée; il croit que la conductibilité suit une progression moins rapide dans sa diminution que celle dans l'augmentation de longueur (1). M. Marianini a essayé de déterminer le pouvoir conducteur des liquides; mais comme il n'a pas tenu compte des effets électriques produits dans les réactions des dissolutions sur les métaux, les résultats auxquels il est parvenu doivent être considérés comme très-complexes. Néanmoins ces résultats s'accordent assez bien avec ceux qui ont été trouvés par d'autres physiciens pour les solutions acides et alcalines qui

(1) Bibl. univ., t. XLV, p. 113.

sont les meilleurs conducteurs liquides de l'électricité.

MM. Gay-Lussac et Thénard avaient reconnu que l'eau distillée était un mauvais conducteur de l'électricité, mais pour peu qu'on y ajoute quelques gouttes d'acide ou d'une dissolution saline, elle acquiert aussitôt la propriété de conduire les courants et d'être décomposée par la pile. M. Delarive (1) a trouvé des effets analogues dans le brome et l'acide sulfureux liquéfié ; ces liquides ne sont conducteurs qu'autant qu'on y ajoute de l'eau, alors ils deviennent de bons conducteurs de mauvais qu'ils étaient ; l'acide sulfurique se trouve aussi dans le même cas. Nous devons mentionner aussi une observation intéressante de M. Delarive (2), relative à la proportion d'eau de 70 à 50 p. cent en poids, qui donne à l'acide sulfurique le plus haut degré de conductibilité électrique; cette proportion se trouve être précisément la même que celle qui rend son action la plus énergique sur les métaux oxidables. Ce fait est d'autant plus remarquable qu'il vient à l'appui des idées que j'aurai l'occasion de développer sur les rapports qui existent entre les effets électriques et les actions chimiques.

M. Delarive fait remarquer que l'influence de l'eau sur la conductibilité tient à ce qu'elle facilite la décomposition chimique qui accompagne toujours, dans les liquides, la propagation du courant électrique et qui est intimément liée avec elle.

Il paraît jusqu'ici qu'il n'y a que les métaux et le charbon, parmi les corps solides, qui soient de bons conducteurs de l'électricité; aussi dans quelques circonstances, peut-on se servir de cette propriété pour distinguer un métal d'un autre corps. C'est ce que Wollaston a fait, quand il a voulu démontrer pour la première

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXII, p. 160, et t. XL, p. 409; et Bibl. univ., t. XL, p. 196.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIV, p. 425; et Bibl. univ., t. XLIII, p. 403.

fois que les petits cristaux de titane que l'on trouve dans les scories de fer, étaient du titane métallique. C'est en employant un procédé semblable à celui de Wollaston, que M. Macaire (1) a trouvé que des mélanges de plomb et de soufre fondu sont conducteurs toutes les fois qu'ils ne forment pas de combinaisons chimiques, tandis que le contraire a lieu quand il y a combinaison, comme la galène en est un exemple. Aussi a-t-il proposé de se servir de ce moyen pour distinguer les simples mélanges des véritables combinaisons chimiques. Peut-être M. Macaire a-t-il donné trop d'extension à ce fait. On a étudié dans ces derniers temps la perte que le courant éprouvait toutes les fois qu'il changeait de conducteur. Ritter (2) avait déja observé en 1807 que si l'on fait passer un courant dans une colonne formée de disques de cuivre et de drap mouillé alternant ensemble, on pouvait augmenter la conductibilité en diminuant le nombre des alternatives, ou bien en mettant à côté les uns des autres tous les disques de cuivre d'une part, et de l'autre tous ceux de drap mouillé. M. Delarive, en 1824, s'occupa des mêmes recherches, en employant le multiplicateur (3). Il prouva que si dans un liquide traversé par un courant, on place une lame de platine, l'intensité du courant est diminuée. En en plaçant deux, trois de la même manière, le courant éprouve chaque fois une diminution dans son intensité. Il fut conduit ainsi à établir les lois suivantes : 1° quel que soit le nombre des plaques interposées, la diminution du courant est d'autant moindre, que le courant est lui-même plus intense. 2° La diminution dans l'intensité d'un même courant est d'autant moindre chaque fois, qu'il a déja traversé un plus grand nombre de plaques. 3° L'intensité absolue du courant influe sur la diminution de son intensité, suivant

(1) Bibl. univ., t. CXL, p. 146.
(2) Journ. de Phys., t. LVII, p. 471.
(3) Annal. de Ch., t. XXVIII, p. 190.

la nature de la pile employée, attendu que plus le nombre des éléments est grand, moins, à intensité égale, le courant éprouve de perte en changeant de conducteur. Ces lois sont très-remarquables en raison de leur analogie avec celles que présentent la lumière et le calorique dans leur propagation. Aussi ce rapprochement n'a-t-il pas échappé à la sagacité de M. Delarive.

Quelques années après, ce physicien reprit cette question et ajouta de nouveaux faits à ses premiers résultats. Il démontra (1), par exemple, que, bien que l'étendue des surfaces de contact exerce une grande influence sur la transmission du courant, son effet est surtout plus grand quand le courant est faible que lorsqu'il est intense; il observa aussi, et ce fait est d'une grande importance pour la théorie électro-chimique, que le passage de l'électricité dans un liquide est d'autant plus facile, que l'action chimique entre ces deux corps est plus marqué. M. Delarive ne se borna pas à observer des faits isolés, il en tira sur-le-champ des conséquences générales, qu'il a appliquées aux propriétés des différentes piles. C'est ainsi qu'il a prouvé pourquoi, lorsqu'il s'agit de produire des effets de chaleur ou des courants énergiques, il faut préférer des piles à grande surface et un petit nombre d'éléments, plutôt que des piles formées de nombreux éléments, tandis que pour obtenir des effets de tension, il vaut mieux prendre celles-ci. En se livrant aux recherches dont je viens de parler, M. Delarive (2) eut occasion de remarquer de nouveau la propriété découverte par MM. Ritter et OErsted (3), celle qu'acquièrent les conducteurs métalliques qui ont servi à produire des décompositions chimiques, de donner naissance à un courant dirigé en sens inverse du premier, quand on les plonge dans un liquide conducteur. Il a cherché à expliquer ce fait intéressant,

---

(1) Annal. de Ch., t. XXXVII, p. 256.
(2) *Idem*, t. XXXVI, p. 33, et Bibl. univ., t. XXXV, p. 92.
(3) Page 123 de cette notice.

en partant de l'hypothèse que pendant qu'ils conduisent le courant électrique, ils se constituent dans un état électrique particulier, qu'ils conservent ensuite lorsque le circuit est interrrompu, et dont ils se déchargent en donnant naissance à un courant dirigé en sens inverse de celui qu'ils transmettaient d'abord.

Il avança, à l'appui de cette explication, qu'en coupant la portion du fil qui est en contact avec le premier liquide, on a également un courant lorsque l'on plonge la partie qui n'était pas immergée; mais je me suis assuré à diverses reprises qu'il n'en est pas ainsi quand les surfaces sont très-propres. Le phénomène est donc réellement produit par les portions du fil sur la surface desquelles s'opèrent les réactions chimiques. M. Marianini s'est occupé aussi, à la même époque, du passage de l'électricité à travers les conducteurs. Il reconnut d'abord, parmi les causes qui influent sur l'énergie de la pile, l'influence des alternatives de conducteurs métalliques et de conducteurs liquides. Une lame de métal placée dans un liquide sur la route d'un courant, diminue son intensité d'une manière semble : il découvrit aussi quelques-unes des lois de ce phénomène.

Dans l'ouvrage qu'il a publié à ce sujet(1) on voit qu'il a fait une étude particulière de la faculté électro-motrice relative des conducteurs solides et des circonstances qui la modifient. L'oxidation, suivant lui, augmente la faculté négative d'un métal; un faible courant qui passe d'un liquide dans un métal, donne à celui-ci une polarité différente de celle qu'il possédait; il retrouve alors cette propriété déja décrite que chacune des lames de métal qui entre dans un couple devient capable, lorsqu'on l'accouple avec une autre lame de même métal, de produire un courant électrique, dans lequel elle manifeste un état électrique inverse de celui qu'elle possédait avant.

---

(1) Saggio di esperienze electro-motrici, Venise, 1825. Annales de Ch. et de Phys., t. XXXIII, p. 113.

L'intensité du courant dépend de la conductibilité du liquide et du temps de l'immersion. Il est à regretter que M. Marianini n'ait pas tenu compte, dans ses expériences, des effets électro-chimiques qui ont toujours lieu quand on plonge dans un liquide des plaques de métal qui ont été attaquées par d'autres liquides; car, bien qu'on les essuie avec soin, il en résulte toujours des effets électriques qui donnent naissance à des effets composés.

On doit à M. Marianini une analyse détaillée des piles secondaires (1). Il a cherché à démontrer que leur pouvoir électro-moteur n'est pas produit par la difficulté qu'elles opposent au passage de l'électricité; qu'il ne peut être attribué non plus à l'action électro-motrice qu'exercent sur les diaphragmes métalliques les substances acides et alcalines qui sont déposées sur leurs surfaces par l'action des courants, puisqu'en dérangeant ou en retournant les couches humides, on ne change pas la polarité. En définitive, il pense que l'on doit rapporter les effets des piles secondaires aux altérations qu'éprouvent les surfaces mêmes des diaphragmes, en vertu de l'action voltaïque. Il se fonde, à cet égard, sur ce que l'on obtient encore un courant lorsque les plaques ont été essuyées et que l'on remplace le liquide.

Dans un autre Mémoire (2), il a exposé le résultat de ses recherches sur l'altération qu'éprouve la faculté électro-motrice des métaux, par l'influence des courants résultant de l'action d'une pile composée d'un grand nombre d'éléments. Il est parvenu, suivant lui, à altérer tellement cette faculté dans quelques métaux, tels que l'argent, le cuivre, etc., qu'ils sont devenus électro-positifs dans leur contact avec le zinc. Son opinion est que la modification qu'éprouve la force électro-motrice des métaux, quand on les plonge dans une dissolution, peut être attribuée ou à l'action des courants partiels produits

---

(1) Annal. de Ch., t. XXXVIII, p. 5.
(2) *Idem*, t. XLV, p. 28.

en vertu de l'hétérogénéité des surfaces qui ont été immergées, ou aux changements que l'action chimique a fait naître sur ces mêmes surfaces.

On doit aussi à M. Marianini un travail (1) sur la perte de tension qu'éprouvent les appareils voltaïques quand ils sont fermés et les changements qui s'opèrent dans l'action électro-motrice.

M. Vanbeek (2) a observé que les liquides présentent, dans leur contact avec les métaux, des effets analogues à ceux que Ritter, MM. Delarive et Marianini ont trouvés dans les lames qui ont servi à décomposer l'eau. Si l'on plonge dans une dissolution saline un couple cuivre et zinc, le cuivre, comme on sait, est préservé; mais si on enlève, quelques jours après, la lame zinc, le cuivre continue à être préservé de toute action chimique de la part du liquide.

§ VIII. *De l'action des aimants et des courants sur tous les corps.*

Coulomb, comme nous l'avons déja dit, est le premier physicien qui ait cherché à constater l'action des aimants sur tous les corps; mais il n'annonça les résultats qu'il avait découverts qu'avec une certaine réserve, dans la crainte d'avoir été induit en erreur sur la véritable cause des phénomènes. Immédiatement après la découverte de l'électro-magnétisme, on reprit cette question, tant elle est importante pour l'étude du magnétisme terrestre.

M. Ampère (3), aidé de M. Delarive, au mois de septembre 1822, voulut essayer l'action exercée à distance par de très-forts courants électriques sur des lames de métal. Ayant pris un fil conducteur recouvert de

(1) Annal. de Ch., vol. XXXVIII, p. 337.

(2) Bibl. univ., t. XXXVII, p. 269. Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 49.

(3) Annal. de Ch., t. XLVIII, p. 405.

soie et enroulé un grand nombre de fois sur lui-même, il suspendit, dans l'intérieur, un anneau de cuivre, qui pouvait osciller librement entre les deux pôles opposés d'un fort aimant en fer à cheval, et observa que lorsque le fil était traversé par un fort courant, l'anneau était repoussé ou attiré par les deux pôles, suivant le sens du courant. Il ne donna aucune suite à cette expérience, tont le résultat fut consigné dans un des numéros de la Bibliothèque universelle.

Je cherchai quelque temps après, à l'aide du multiplicateur (1), l'action d'un courant énergique sur des aiguilles de différents métaux et des cartouches en papier remplies de mélanges, en diverses proportions, des deux oxides de fer; je reconnus que ces aiguilles étaient ramenées dans le sens des circonvolutions du fil et que, dans ce cas, la distribution du magnétisme s'y faisait transversalement et non dans le sens de la longueur. J'indiquai alors le moyen de reconnaître la quantité d'oxide magnétique qui pouvait se trouver dans le tritoxide. En reprenant les observations de Coulomb touchant l'action de forts aimants sur des aiguilles faites avec des substances diverses, je reconnus (2) que cette action était réellement magnétique et que la direction des aiguilles, dans la ligne des poles, n'était qu'un cas particulier d'une loi plus générale. Je fis voir que l'on pouvait les placer dans la direction perpendiculaire à cette ligne, en rapprochant très-près les deux extrémités de l'aimant.

M. Arago (3), en 1825, découvrit une action exercée par tous les corps sur les aiguilles aimantées, à laquelle on était loin de s'attendre, du moins pour l'intensité, car les expériences de Coulomb et les miennes devaient faire présumer qu'elle existait. Il observa que l'amplitude des

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXV, p. 269.
(2) *Idem*, t. XXXVI, p. 337.
(3) *Idem*, t. 32, p. 213.

oscillations d'une aiguille aimantée est influencée par le voisinage des substances métalliques qui l'entourent. Les oscillations ne diminuent pas dans leur vitesse, mais bien dans leur amplitude, comme si elles avaient lieu dans un milieu plus dense que l'air. Cette observation fut un trait de lumière pour lui, et le conduisit à la découverte (1) d'un autre mode d'action, qui est très-remarquable. Ayant placé une aiguille aimantée, librement suspendue, au-dessus d'un disque de cuivre, auquel il imprima un mouvement de rotation (en ayant eu le soin de séparer les deux corps au moyen d'un écran, pour éviter les effets produits par l'agitation de l'air), il vit aussitôt l'aiguille se dévier d'un angle d'autant plus grand que le mouvement était plus rapide, et suivre même le mouvement du disque, quand sa vitesse était suffisante. M. Arago remarqua aussi que l'action de l'aiguille était diminuée sensiblement quand le disque de cuivre avait des solutions de continuité. Aussitôt après cette découverte, l'expérience fut répétée, commentée, analysée; des théories furent même données pour expliquer cet effet nouveau. M. Arago se borna à annoncer le fait sans donner d'explication, dans l'impossibilité où il était de pouvoir le faire d'une manière utile pour la science.

On pensait que les pôles de l'aiguille aimantée, en réagissant sur le disque en rotation, y produisaient un magnétisme passager, dont l'existence était de quelque durée et déterminait le transport de l'aiguille. M. Arago, en analysant le phénomène, trouva que la résultante de l'action qui est produite par un disque peut être partagée en trois forces. La première est verticale ou perpendiculaire au disque; la seconde horizontale et perpendiculaire au plan vertical qui contient le rayon aboutissant à la projection du pôle de l'aiguille; la troisième dirigée parallèlement au même rayon. La 1re est répulsive; la 2e est la force

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXII, p. 213.

tangentielle, qui donne le mouvement de rotation aux aiguilles horizontales. On observe la troisième au moyen d'une aiguille d'inclinaison placée verticalement, de manière que son axe de rotation soit contenu dans un plan perpendiculaire à l'un des rayons du disque. L'aiguille ne se meut qu'en vertu de la composante dirigée vers le centre.

MM. Nobili et Bacelli (1) publièrent, immédiatement après plusieurs expériences qui étaient en opposition avec quelques-unes des précédentes. Ils avaient avancé qu'ayant fait osciller des aiguilles aimantées au-dessus de substances non métalliques, ils n'avaient pas trouvé de différence appréciable entre les oscillations que font les aiguilles au-dessus des disques et hors de leur influence; M. Arago (2) répondit de suite à l'assertion de ces deux physiciens, en citant des expériences qui prouvaient qu'il y avait eu erreur dans leurs expériences.

MM. Herschell (3) et Babbage répétèrent l'expérience d'une manière inverse; ils firent tourner un disque de métal librement suspendu par son centre, en imprimant un mouvement de rotation à un aimant placé au-dessous. Ils soumirent à l'expérience des plaques de différents métaux, pour déterminer la différence d'action qui résulte de la nature du métal. Ils constatèrent un autre fait très-remarquable, c'est que, si l'on rétablit la continuité d'une plaque en remplissant les intervalles vides avec un métal dont l'influence magnétique, dans l'état de mouvement, soit très-inférieure à celle de la plaque, cette plaque hétérogène reprend peu à peu toute l'énergie magnétique qu'elle possédait avant qu'on l'eût rendue discontinue. M. Christie fit aussi des recherches sur le magnétisme du fer provenant de la rotation (4). M. Seebeck s'occupa du même sujet, il fit

(1) Bibl. univ., janvier 1826.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXII, p. 213 et suiv.
(3) Trans. phil. 1825.
(4) Trans. phil., 1825, p. 347, 497; 1827, p. 71.

osciller une aiguille horizontale le plus près possible de plaques de diverses substances, afin de déterminer celles qui diminueraient le plus l'étendue des oscillations de l'aiguille. Il trouva l'ordre suivant, en commençant par les métaux qui agissent avec le plus de force : fer, argent, cuivre, laiton, étain, zinc, or, plomb, antimoine, platine, bismuth, mercure. On doit à M. Haldat, de Nanci (1), des observations intéressantes sur le magnétisme par rotation. Il a observé que la force qui émane du disque en mouvement est d'autant moindre que sa force coercitive est plus grande. Ainsi un disque d'acier n'entraîne pas l'aiguille quand la rotation est très-rapide. Il a observé également que la force d'entraînement ne diminue pas quand on porte la température du disque même jusqu'à l'incandescence.

M. Ampère, aidé de M. Colladon, prouva plus tard qu'un disque en mouvement agit sur une hélice métallique dans laquelle on fait passer un courant, absolument comme sur un aimant.

Les phénomènes que je viens de rapporter avaient besoin de nouveaux développements pour que l'on connût bien la cause de leur production. M. Faraday, en découvrant les courants électriques produits par influence, a jeté un grand jour sur les rapports qui existent entre les aimants et les courants électriques. Voici l'énoncé du fait fondamental (2) : Lorsque deux fils de métal, placés parallèlement à côté l'un de l'autre, sont séparés par une matière isolante, si l'on fait passer un courant électrique dans l'un d'eux, il se développe dans l'autre un courant semblable, dirigé en sens contraire, qui ne dure qu'un instant. Aussitôt que le courant primitif cesse, il s'en produit un autre, dirigé cette fois dans le même sens que le courant producteur, et dont la durée est également instantanée.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIX, p. 232 ; t. XLII, p. 33, et t. LII, p. 303.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. L, p. 5 et 113.

M. Faraday, pour avoir le plus grand effet possible, a enroulé les deux fils en même temps autour d'un cylindre de bois.

Cet habile et ingénieux physicien a également découvert qu'un aimant possède la propriété de produire des courants par influence ou par induction, pour me servir de ses expressions, en plaçant cet aimant dans l'intérieur de l'hélice. Aussitôt l'introduction, on a un courant instantané dans le fil de l'hélice; retire-t-on l'aimant, on a un courant en sens inverse. Cette expérience est de la plus haute importance pour la théorie de M. Ampère, qui admet que l'aimant est formé de courants électriques dirigés dans des plans perpendiculaires à l'axe. Cette expérience est la première à l'aide de laquelle on soit parvenu à produire de l'électricité avec un aimant.

M. Faraday, en appliquant cette observation à l'action d'un disque en rotation sur une aiguille aimantée, a prouvé qu'elle est due à celle des courants électriques instantanés que l'aiguille aimantée développe sur le disque en mouvement. Il est même parvenu à en démontrer l'existence. Il a prouvé que l'on pouvait, à l'aide du magnétisme terrestre, produire des courants électriques dans des disques métalliques et dans des fils conducteurs en mouvement. Il résulte de là que tout corps conducteur qui est en mouvement sur la terre, est recouvert de courants électriques. M. Faraday a obtenu des étincelles électriques en disposant convenablement ses appareils, et rapprochant très-près l'une de l'autre les deux extrémités du fil soumis à l'induction. MM. Nobili et Antinori (1) se sont occupés des mêmes phénomènes, immédiatement après qu'ils eurent eu connaissance de la découverte de M. Faraday; ils ont obtenu quelques différences sur plusieurs points. Ces deux physiciens commencèrent leurs expériences sur la simple annonce de la découverte que fit M. Fa-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVIII, p. 412, et t. L, p. 280.

chette à l'Académie des sciences de Paris, le 17 décembre 1831, d'après une lettre de M. Faraday. Le Mémoire dans lequel ce physicien avait exposé ses expériences, avait été communiqué à la Société royale le 24 novembre de la même année. Le 12 janvier suivant, il fit part à la même société des observations relatives à la production des courants par l'influence du magnétisme terrestre. Il résulte de là que les travaux de MM. Nobili et Antinori sont postérieurs aux travaux de M. Faraday. La question de priorité relative aux découvertes principales ne peut donc faire l'objet d'aucune discussion. M Faraday n'avait encore obtenu que de petites étincelles avec les aimants, lorsque M. Pixü (1) à Paris, à la fin de 1832, et M. Bottot à Turin, construisirent des appareils au moyen desquels ils produisirent des courants électriques continus, capables de décomposer l'eau et les dissolutions salines. Le procédé ingénieux dont M. Pixü a fait usage lui a mérité une médaille de la part de l'Académie des sciences; il consiste, ainsi que tous ceux du même genre, à séparer les deux courants contraires qui se produisent à l'instant où commence et cesse l'action par influence des aimants sur les fils.

§ IX. *Des mouvements gyratoires du mercure, et en général des mouvements excités dans les corps par l'électricité.*

Depuis la découverte d'Œrsted, les physiciens n'ont cessé de s'occuper de l'action des courants les uns sur les autres, sur les animaux, sur le globe ou sur les corps. Ils ont étudié aussi les mouvements que le mercure prend dans des dissolutions traversées par un courant. Davy (2) avait observé que des gouttes de mercure placées entre les deux pôles d'une pile, au fond d'un

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. L, p. 322.
(2) Éléments de philosophie chimique.

vase qui contient une dissolution soumise à son action, prend un mouvement assez rapide et s'allonge du côté négatif.

M. Herschell (1) est parti de là pour étudier ce phénomène dans tous ses détails. Si du mercure très-pur est placé dans un vase de terre de Wedgevood et recouvert d'un quart de pouce d'acide sulfurique concentré, et que l'on plonge dans l'acide seulement, aux côtés opposés du mercure, deux fils de platine en communication avec les pôles d'une pile, il se manifeste aussitôt dans l'acide une circulation rapide, due à un mouvement violent qui s'établit entre les deux fils, et qui traverse directement le mercure, dans la direction du pôle négatif au pôle positif. Le mercure et l'acide ne sont pas sensiblement attaqués. Quand le globule de mercure est d'une grosseur considérable, il s'allonge vers le côté négatif, et s'il est assez près, il l'atteint et s'amalgame avec lui. M. Herschell a décrit avec soin toutes les circonstances de ce phénomène, selon la grosseur du globule et sa position par rapport aux extrémités du fil. Il a trouvé que lorsqu'on substitue un bassin de verre à celui de Wedgevood, le frottement contre le vaisseau est la cause principale de l'attraction apparente du globule de mercure vers l'extrémité négative.

Quand on substitue à l'acide sulfurique d'autres liquides conducteurs, il se produit des phénomènes du même genre, mais qui sont modifiés par la nature des substances employées, l'intensité du courant, etc. Ces expériences offrent des difficultés dans l'exécution; une des causes qui les compliquent est l'impureté du mercure.

En général, selon la nature du liquide, il se produit des courants plus ou moins violents, qui rayonnent du point le plus près du pôle négatif. Dans les acides, les mouvements sont plus décidés et plus violents que

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 280.

dans les dissolutions salines, à mesure que l'énergie électro-positive de la base est plus grande. Les sels à base de potasse offrent des effets faibles, tandis que dans les sels à base de soude, d'ammoniaque, de baryte, etc., ils sont plus distincts et particulièrement dans ceux de magnésie, d'alumine, etc. Dans les dissolutions alcalines, le mercure reste parfaitement en repos.

Dans quelques liquides particulièrement dans les solutions métalliques, il se forme deux courants, un qui rayonne du pôle négatif et un autre du pôle positif.

Si l'un des deux est mis en communication avec le mercure, il n'y a pas de courant partant du point de contact, tandis qu'il y en a un très-violent qui part de l'autre. M. Herschell a décrit tous les effets produits par les fils électrisés, lorsque, les contacts ayant été interrompus, on complète le circuit dans le liquide. Il a attribué les propriétés acquises par le mercure à la présence du sodium, car en mettant un peu de ce métal dans une certaine quantité de mercure, il obtint les mêmes effets. Il nous est impossible de suivre M. Herschell dans l'examen de tous les faits qu'il a observés, en recherchant les effets de différents métaux dans leur contact et leur amalgamation avec le mercure. Il n'a trouvé que le bismuth, l'argent et l'or qui, ajoutés même en quantité considérable, ne communiquent au mercure aucun pouvoir de rotation.

Il a examiné ensuite si l'on pouvait obtenir les mouvements semblables avec des métaux en fusion; il n'a pu réussir qu'avec l'alliage fusible de plomb, d'étain et de bismuth, sans l'intervention du mercure.

Enfin il considéra comme exerçant probablement une grande influence sur les résultats, la grande différence de conductibilité entre les corps métalliques mis en mouvement et le liquide au-dessous duquel ils sont immergés. D'un autre côté, comme il n'a jamais obtenu de courant sans la présence d'un métal liquide, il s'ensuit que l'on doit admettre qu'une seconde con-

dition essentielle est une immiscibilité parfaite des liquides conducteurs, pour que la transition de l'un à l'autre soit tout-à-fait brusque. Il admet encore une troisième condition, qui est une certaine rélation chimique ou électrique entre eux. D'après cela, il pense qu'il n'est point impossible que les phénomènes puissent recevoir une explication complète, en ayant égard à l'état de nos connaissances sur le passage de l'électricité à travers les conducteurs et les grands pouvoirs attractifs et positifs des électricités positives et négatives entre elles. Il pense à cet égard qu'il pourrait se faire qu'un corps, fortement électro-positif, comme le potassium combiné avec le mercure, eût son état électrique naturel exalté par son voisinage du pôle positif, et qu'étant repoussé, il prît le seul chemin que la résistance du métal d'un côté, et la cohésion de l'autre lui permissent de suivre, c'est-à-dire le long de la surface, pour s'éloigner du pôle positif. Au surplus, il n'a donné cette explication que comme une conjecture. Il a envisagé aussi l'action qui a lieu à la surface commune des deux milieux inégalement conducteurs, comme *sui generis* et dépendante d'un nouveau pouvoir du courant électrique, d'une nature ayant de l'analogie avec l'action magnétique. M. Herschell a avancé qu'il n'était point improbable que plusieurs phénomènes de petits mouvements intestins, attribués ordinairement à l'attraction capillaire, à des productions de chaleur ou autres causes, puissent être expliqués par des effets de ce genre. Il y a rapporté également les mouvements de globules découverts par M. Amici dans la sève du chara. Ces mouvements avaient déja été considérés par M. Amici comme dus à l'électricité développée par les globules. M. Herschell ajoute que ce courant a beaucoup de ressemblance avec celui qui est produit lorsqu'un courant électrique passe sur une petite rangée de petits globules de mercure placés dans un milieu conducteur.

Aussitôt que le travail de M. Herschell eut paru, M. Sérullas réclama sur la priorité de quelques-uns des phé-

nomènes qui étaient décrits dans son Mémoire; il adressa à ce sujet une lettre à l'un des rédacteurs des Annales de chimie et de physique (1), dont voici quelques passages :

« En lisant les détails historiques sur la science élec-« tro-chimique publiée par M. Davy (2), j'ai vu que « son illustre auteur a cru devoir citer comme un fait « qui s'y lie, le phénomène électrique produit par la « pile sur l'amalgame du potassium, et qu'il attribue « à M. Herschell les premières expériences qui ont été « faites à ce sujet.

« Quel que soit le mérite d'avoir fait le premier cette « observation, il n'appartient point à M. Herschell, et « dans l'intérêt de la vérité, je dois relever cette erreur. « Le Mémoire (the Bakeriens lecture) où cet habile « physicien en fait mention est du 6 janvier 1824, et « postérieur de plus de trois ans à la publication de « mon Mémoire sur la même matière (1820-1821) (3). »

M. Sérullas commence par dire que si M. Herschell a éclairci des doutes sur la cause du mouvement gyratoire, il n'en est pas moins vrai que les expériences principales ne sont que les siennes reproduites sous un nouveau jour.

Voici les faits décrits par M. Sérullas : Une simple tige de métal placée au milieu ou sur un point quelconque d'un bain de mercure en action par le potassium, ou par un alliage de ce métal, attire autour d'elle l'eau du bain qui s'élève au-dessus du niveau, au point que s'il y a peu de liquide, le bain est desséché. Il rapporta ce phénomène à la présence du potassium, qu'il supposa devoir former une pile avec l'un des deux métaux. Enfin M. Sérullas ajoute que M. Herschell est dans l'erreur, relativement aux mouvements gyratoires des fragments d'alliage de potassium, qui seraient les mêmes que les mouvements occasionés par les courants. Il

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIV, p. 192.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIII, p. 315.
(3) Journ. de Phys., t. XCI, p. 170, et t. XCIII, p. 115.

n'y a pas de doute qu'ils ne soient dus, ajoute-t-il, à l'effluve d'hydrogène et d'une manière analogue à ceux qu'exécute très-rapidement un globule de mercure, placé au fond d'une capsule de verre ou de porcelaine, sur lequel on verse de l'eau nitrique. Ce fait conduisit M. Sérullas à une observation très-curieuse, c'est que un douze cent millième et même encore moins de bismuth dissous dans le mercure, peut être rendu visible aussitôt par l'addition d'une certaine quantité d'amalgame de potassium et d'un peu d'eau.

Il s'élève aussitôt du sein de la masse une poudre noire, qui est un mélange de bismuth et de mercure très-divisé, lequel vient se placer à la surface ou sur les parois du vase au-dessous du mercure.

Le cuivre, le plomb, l'étain et l'argent sont séparés également, mais moins promptement et moins sensiblement que le bismuth. M. Sérullas regarda ce procédé comme le réactif le plus délicat que possède la chimie pour reconnaître la présence du bismuth dissous dans le mercure. M. Sérullas donna ensuite la théorie de cette séparation que je reproduirai dans le cours de l'ouvrage.

M. Nobili s'occupa plus tard de cette propriété mécanique du courant électrique, en étudiant les apparences électro-chimiques qui sont produites sur la surface du mercure par le courant (1). Il constata aussi, comme l'avaient reconnu MM. Sérullas et Herschell, l'influence de l'alliage du mercure avec différents métaux, et particulièrement avec le sodium et le potassium, pour produire les mouvements gyratoires. Il observa en outre que le mercure ne manifeste ce mouvement qu'autant qu'il ne se forme pas de couches colorées sur sa surface par l'effet des décompositions chimiques. Le Mémoire de M. Nobili renferme plusieurs observations curieuses. Il a remarqué, par exemple, qu'une pointe de métal

(1) Bibl. univ., t. xxxv, p. 261.

communiquant avec l'un des pôles d'une pile et placé au-dessus et très-près du centre d'une goutte de mercure, qui se trouve dans une solution saline ou acide en communication avec l'autre pôle, produit une dépression dans le mercure. Il est parvenu aussi à déterminer un mouvement alternatif continu et régulier.

J'ai encore à mentionner les recherches de M. Runge sur le même mode de mouvement que prend le mercure lorsqu'on le met en contact avec d'autres métaux par l'intermédiaire des acides (1).

Un courant développé par une faible action chimique ayant suffi pour changer le niveau d'une colonne de mercure placée dans un tube et recouverte d'une solution acide, il a étudié les effets qui sont produits en touchant avec différents métaux une goutte de mercure recouverte d'une solution saline. Le zinc jouit de la propriété de lui imprimer un mouvement de rotation.

Tous ces mouvements sont le résultat d'une action composée, provenant de celle des courants développés par les diverses réactions chimiques. On peut aussi les attribuer en partie, comme l'a fait M. Delarive (2), à l'impulsion que les éléments séparés et transportés par l'électricité, semblent exercer sur le mercure où le courant les dépose et les fait pénétrer en les amalgamant avec lui.

Depuis long-temps on avait observé plusieurs effets mécaniques produits par des courants, mais non du genre de ceux dont il vient d'être question. Je dois les rapporter ici, attendu que tout ce qui est relatif aux propriétés chimiques ou physiques de l'électricité est du plus haut intérêt pour acquérir quelques notions sur la nature du principe électrique. M. Porret (3) a trouvé que lorsque l'on sépare une capsule en deux parties, au moyen d'une bande de baudruche, et que l'on remplit

(1) Bibl. univ., t. XLIV, p. 237.
(2) Esquisse histor. sur l'électr., p. 177.
(3) Annal. de Ch. et de Phys., t. II, p. 137.

chacune d'elles d'eau ordinaire, en mettant chaque compartiment en communication avec l'un des pôles d'une pile, au moyen d'une lame de platine, on voit peu de temps après l'eau passer de la case positive dans la case négative, par l'effet d'une force d'impulsion qui lui fait surmonter la résistance que la baudruche oppose à son passage.

M. Auguste Delarive, qui a étudié ce phénomène (1), a cru reconnaître, d'après quelques essais, qu'il n'est produit qu'autant que le liquide n'est pas bon conducteur; en y ajoutant un sel, il n'a plus lieu.

J'ai observé un effet de ce genre, non plus avec des liquides, mais avec des corpuscules très-légers : deux tubes ayant été remplis à moitié d'argile et d'eau, les ouvertures inférieures fermées par des bouchons percés de petits trous, on les a plongés dans l'eau, et le liquide des tubes mis en communication avec la pile au moyen de lames de platine. L'argile a été chassé du pôle positif et nullement de l'autre. Cette expérience prouve que le courant du positif au négatif agit, dans cette circonstance, comme une force mécanique qui renverse tout ce qui fait obstacle à son passage.

M. Fusinieri a remarqué des effets mécaniques d'un autre genre. Quand l'électricité sort d'un corps, elle emporte avec elle des particules de ce corps qu'elle dépose sur la surface de celui dans lequel elle entre. Le lecteur se rappellera que Hawkesbee, Priestley et Beccaria avaient reconnu également des effets de ce genre (2); mais ils ne les ont pas suivis aussi loin que M. Fusinieri.

On a rapporté, dans ces derniers temps, à l'électricité les phénomènes d'endosmose et d'exosmose découverts par M. Dutrochet (3), lesquels consistent, comme on sait, dans le déplacement mutuel de deux liquides séparés par une membrane ou des corps poreux. Ces phéno-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 196.
(2) Pages 54 et 55 de cette notice.
(3) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVII, p. 191.

mènes, dont on ne connaît pas encore bien la cause, paraissent devoir être rapportés à la capillarité. Cependant il pourrait se faire que le courant électrique qui est produit dans la réaction des deux liquides l'un sur l'autre, déterminât un effet de transport semblable à celui qui a été découvert par M. Porret.

§ X. *Des apparences électro-chimiques; nouvelles recherches sur le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.*

On doit à M. Nobili (1) une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques fort remarquables par leur singularité. Ce sont des anneaux colorés présentant les teintes les plus riches et qui sont déposés sur les plaques métalliques par les courants électriques. Il les obtient en concentrant le courant dans un fil de platine dont l'extrémité plonge dans la dissolution que l'on veut décomposer, tandis que le courant qui arrive de l'autre côté débouche, dans cette même dissolution, par un disque de métal placé perpendiculairement à la direction du fil et le plus près possible de sa pointe. Les anneaux colorés se produisent vis-à-vis de la pointe; leur couleur et leur composition dépendent de la nature des dissolutions et varient suivant que la lame est en communication avec le pôle positif ou le pôle négatif. Un exemple suffira pour donner une idée de ces phénomènes. Avec une dissolution de sulfate de cuivre et une lame d'argent positive, il se forme vis-à-vis de la pointe négative quatre ou cinq cercles concentriques qui sont alternativement clairs et obscurs. Lorsqu'elle est négative, on obtient trois petits cercles de cuivre provenant de la décomposition du sulfate; les deux cercles extrêmes sont d'un rouge foncé et celui du milieu d'une couleur plus claire.

L'acétate de plomb produit sur l'or et l'argent positifs

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIV, p. 280 et 419.

des iris concentriques aussi brillants que les anneaux colorés de Newton. En multipliant les pointes négatives, il se forme sur la lame des systèmes d'iris concentriques, qui ne s'intervertissent pas comme le font ordinairement les ondes, mais qui, lorsqu'ils sont parvenus au contact, s'étendent jusqu'au dehors, de manière à ne former qu'un seul contour extérieur.

M. Nobili, qui a fait un grand nombre d'expériences sur les apparences électro-chimiques produites sur les lames de métal, a été conduit aux résultats suivants :

1° Le premier est la propriété reconnue dans certaines substances électro-négatives de s'attacher, dans quelques circonstances, à la surface de plusieurs des métaux les moins oxidables en couches assez minces et assez régulières pour faire renaître, sous mille formes variées, l'élégant phénomène des anneaux colorés.

2° Lorsque les substances électro-négatives ne se déposent pas sur les métaux en lames minces, elles attaquent leur surface non pas d'une manière uniforme, mais par intervalles réguliers, suivant, pour ainsi dire, une loi analogue à celle des interférences. Au pôle négatif on observe le même phénomène, savoir l'alternative des cercles d'oxide et de métal pur.

M. Nobili n'avait d'abord obtenu les apparences les plus variées que sur la lame de métal en communication avec le pôle positif, mais il est parvenu à obtenir des effets semblables avec la lame négative. Il a employé pour cela deux procédés : le premier consiste à augmenter la force du courant, le second à mêler ensemble plusieurs dissolutions ; par exemple, un mélange d'acétate de cuivre et de nitrate de potasse produit sur l'argent négatif une série de cercles concentriques dont le centre conserve le brillant métallique. Les cercles suivent cet ordre : deux petits cercles d'un vert peu chargé, un blanc, un rouge, un verdâtre, et une zone de cuivre d'un beau rouge de feu. Cette zone est environnée d'un cercle azuré de lignes rayonnantes comme le serait un cercle gradué ; les rayons s'étendent jusque sur le cercle de

cuivre. Ensuite vient une seconde zone cuivrée, plus large que la première, mais également brillante, entourée d'un beau vert qui termine la figure. Cette description suffit pour donner une idée de la beauté des apparences électro-chimiques qui ont été découvertes par M. Nobili.

Les substances animales et végétales sur lesquelles cet habile et ingénieux physicien a opéré ne lui ont donné des effets remarquables qu'au pôle positif. Les couleurs de ces effets sont plus riches et plus belles que celles qui se produisent dans les solutions chimiques ordinaires. Les feuilles lui ont donné des couleurs plus marquées que celles résultant de la décomposition des racines. Il a essayé d'expliquer la coloration des plantes en s'appuyant sur les résultats dont il venait d'enrichir la science.

On a cru un instant que les effets dont je viens de parler n'étaient autres que ceux qui avaient été découverts par Priestley, en déchargeant des batteries électriques sur des plaques de métal; mais M. Nobili a démontré que ces deux espèces d'apparences diffèrent essentiellement entre elles, attendu que celles de Priestley sont les mêmes, soit que l'électricité positive ou négative arrive par la pointe. Il n'en est pas ainsi, comme nous l'avons vu, lorsqu'on opère avec la pile.

Pour se rendre compte des anneaux colorés produits par des décharges électriques, il a étudié de nouveau ce phénomène et a trouvé que les effets produits étaient le résultat d'une fusion ou de l'attraction du métal.

M. Nobili est parvenu, au moyen d'un procédé qu'il n'a pas encore publié, à produire des dessins gracieux, qui étalent les couleurs les plus brillantes et dont les teintes habilement nuancées flattent agréablement l'œil. L'étude qu'il a faite des couleurs produites par les apparences électro-chimiques, lui a permis de former une échelle chromatique des couleurs naturelles, qu'il a employée à analyser les nuances plus ou moins colorées que nous présentent tous les objets naturels ou artificiels. Il

a formé cette échelle en déposant sur une plaque de métal une série de couches régulières superposées, d'une épaisseur excessivement mince, mais successivement croissante, qui lui ont donné ainsi une suite de teintes différentes (1).

M. Bonijol, de Genève, a imaginé aussi un procédé pour exécuter des dessins semblables à ceux de M. Nobili, en employant également la pile ou l'électricité ordinaire. Son procédé n'est pas encore connu.

M. Delarive (2) assure que les dessins exécutés par M. Bonijol ne sont point au-dessous de ceux de M. Nobili, ni sous le rapport de la variété, ni sous celui de la richesse de leurs teintes.

Nous avons déja vu que le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité avait été l'objet de recherches de la part de plusieurs physiciens. M. Cumming (3) avait trouvé aussi que la surface n'entrait pour rien dans le pouvoir conducteur et que dans deux fils dont la conductibilité était la même, leur longueur était dans le rapport des sections des fils.

M. Barlow (4) annonça que le pouvoir variait presque comme le carré de la longueur du fil.

M. Christie, immédiatement après la belle découverte de M. Faraday, communiqua à la Société bakérienne, le 28 février 1833, le résultat de ses recherches sur la détermination expérimentale des lois de l'électricité magnétique d'induction, dans des masses différentes d'un même métal, et de son intensité dans différents métaux.

Voulant déterminer si un courant électrique, excité dans tous les métaux et avec les mêmes circonstances, possède une intensité égale, il s'est proposé de soumettre tous les métaux à l'influence d'une même excitation magnéto-

(1) Bibl. univ., t. XLIV, p. 337, et t. XLV, p. 35.
(2) Essai historique sur l'électricité, p. 173.
(3) Cambridge, Philos. Transac., p. 277.
(4) Edinburgh, Philos. Journal, 1825.

électrique, de manière que tous les courants produits se propageassent dans des sens opposés et par des conducteurs semblables qui pussent mesurer leur intensité respective en raison des différences. Les expériences qu'il a faites, à l'aide du multiplicateur, lui ont démontré clairement que le courant formé par induction sur le cuivre excède de beaucoup celui sur le fer, qui est de plus de moitié moindre en intensité que celui de l'autre. Il a mesuré ensuite la loi d'intensité du courant des fils de même métal de longueur ou de diamètre différents. Il annonça que, sans regarder le fait comme complétement démontré, l'intensité électrique varie en raison inverse de sa longueur.

Il a cherché ensuite à déterminer, par l'expérience, la différence dans l'intensité des courants qui ont traversé des fils de divers diamètres. Les résultats qu'il a obtenus lui ont prouvé que l'intensité du courant ne varie pas seulement en raison de la section du fil, mais qu'il y a d'autres causes d'aberration qui croissent avec le diamètre.

Ayant acquis la preuve que le rapport devait être en raison du carré du diamètre, il a été amené à chercher la cause de la différence obtenue. Il a cru la trouver dans la résistance que l'air oppose à une plus grande projection de l'aiguille du multiplicateur. Il en tira aussitôt la conséquence que l'intensité du courant, dans une longueur donnée, varie en raison du carré du diamètre et inversement comme cette longueur.

§ XI. *Théories des phénomènes de contact, de frottement, et des phénomènes thermo-électriques.*

M. Delarive est revenu tout récemment sur l'opinion qu'il avait émise touchant la cause de l'électricité voltaïque (1). Son but a été de combattre de nouveau la théorie

(1) Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, t. VI, 1re partie.

du contact par des faits et des arguments directs. Il a fait usage, dans cette nouvelle recherche, d'un électroscope à feuilles d'or, de deux plaques composées l'une de zinc, l'autre de cuivre, soudées ensemble. Il tient l'un des métaux avec la main, tandis que l'autre touche le condensateur. Il avance avoir reconnu que l'action chimique qu'exerce sur la surface du zinc l'humidité de la main ou le conducteur humide qui sépare le zinc du plateau du condensateur, est la cause exclusive de la production de l'électricité. Pour rendre le phénomène plus évident, il a opéré avec un couple platine et potassium ou sodium. Il a obtenu, dans ce cas, les effets les plus marqués.

Il a cherché à répondre à plusieurs observations qui lui avaient été faites lors de la publication de son premier Mémoire, et conclut de ses nouvelles observations qu'avec des métaux peu ou point oxidables, et en prenant toutes les précautions possibles pour éviter des actions mécaniques ou calorifiques, on ne trouve jamais aucune trace d'électricité.

Un fait a attiré son attention, c'est l'électricité qui se développe quand on se sert d'un condensateur composé de deux disques hétérogènes; son opinion est qu'il peut se faire que l'électricité développée soit due à la pression du plateau sur la couche de vernis qui les sépare. Je ne pense pas que les raisons qu'il donne puissent être regardées comme valables.

Il rapporte un fait sur lequel il s'appuie, pour rendre compte de plusieurs effets qu'il n'avait pu expliquer avant. Lorsqu'on emploie des courants électriques très-faibles, tels que ceux qui sont produits par le frottement des métaux ou par la chaleur, l'électricité positive passe plus facilement du cuivre au zinc que du zinc au cuivre, et c'est l'inverse pour l'électricité négative. C'est à cette propriété remarquable des conducteurs hétérogènes, ajoute-t-il, qu'il faut attribuer plusieurs des anomalies que présentent les phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité. On peut y rapporter

aussi la nullité des effets électriques observés, quand on expose le bout de cuivre qui est soudé au plateau du zinc inactif, à une assez forte action chimique. Dans ce cas, la difficulté qu'éprouve l'électricité négative à passer du cuivre au zinc, est telle, qu'il lui est plus facile de se réunir immédiatement à l'électricité positive que l'action chimique a transportée dans l'agent qui attaque le bout de cuivre.

M. Delarive explique pourquoi les effets électriques produits dans l'action des gaz sur les métaux sont plus appréciables que ceux qui ont lieu dans l'action d'un liquide sur un métal.

Voulant connaître jusqu'à quel point, dans le contact, le frottement influe sur le dégagement de l'électricité, il a cherché à déterminer directement par l'expérience cette influence. Il s'appuie à cet égard sur les expériences que j'ai faites dans le frottement des métaux et des limailles et sur celles au moyen desquelles il a démontré que le plus léger frottement du doigt, sur une surface métallique, détermine une tension électrique souvent très-notable.

Ayant mis en contact, avec le plateau du condensateur, des lames de différents métaux qu'il tenait au moyen de manches isolants, il frotta légèrement avec le doigt la surface de l'un d'eux, et obtint alors une assez grande quantité d'électricité. Quand le doigt était humide, il n'obtenait rien ou un effet inverse. L'antimoine, par exemple, était négatif et le bismuth positif, résultat inverse de celui que l'on avait quand on frottait ces deux métaux. Il a cherché à expliquer la cause de cette différence. Je ne puis entrer dans le détail des diverses expériences qu'il a faites pour établir cette différence, en opérant soit à la température ordinaire, soit en échauffant les lames de métal. Je me bornerai à dire qu'il attribue les changements qu'il a souvent observés à ce qu'il se forme très-vite à la surface des métaux oxidables une légère couche d'oxide presque imperceptible, laquelle étant enlevée au premier instant où s'opère le frottement,

celui-ci n'a plus lieu entre le corps qui frotte et le métal, mais bien entre le métal et la couche formée. Il avance qu'il a constamment observé que si l'on a le soin de frotter la surface métallique au moment où elle vient d'être décapée, avec un morceau de bois, par exemple, qui n'ait pas encore servi, on la rend négative, surtout si l'air est bien sec. Il n'a trouvé d'exception que pour le plomb et le bismuth, qui n'ont pas donné constamment ce résultat.

Il a avancé en outre que les métaux incertains étaient constamment négatifs quand on frotte leur surface au moment où elle vient d'être décapée, surtout si l'air est sec. Quand l'air est humide et qu'on expose la surface métallique à une forte chaleur, il se forme une légère couche d'oxide que le bois enlève et dont il se recouvre. Il a remarqué qu'en frottant les cubes métalliques sur leurs arêtes au lieu de les frotter sur leurs faces, ils deviennent en général plus actifs, parce qu'il se forme peut-être moins facilement une couche d'oxide sur cette partie. Plus le frottement est doux, plus on a de chance de donner au métal un état positif, parce qu'on lui enlève beaucoup mieux la pellicule d'oxide.

Il paraît convaincu, d'après les observations qu'il a faites sur le frottement des métaux avec différents corps, que l'on a attribué souvent au contact des effets qui étaient dus au frottement.

Il a examiné ensuite l'influence de l'action calorifique sur la production de l'électricité de tension dans le contact de deux corps solides et hétérogènes. Ayant soudé à l'un des plateaux du condensateur en zinc une petite tige de platine, et ayant recouvert le plateau, sur toute la surface, d'une couche épaisse de vernis, il aperçut que la plus petite élévation de température à l'extrémité de la tige donnait naissance à des signes d'électricité; lorsqu'il touchait le bout de cette tige avec la main chaude, le plateau de zinc prenait une petite quantité d'électricité positive. Il part de là pour dire qu'on doit se tenir en garde contre les ef-

fets de chaleur dans les phénomènes de contact. Il examine ensuite la production de l'électricité de tension dans le contact d'un conducteur solide et d'un liquide, question qu'il avait déja traitée, mais à laquelle il donne plus de développement. Il fait observer que le principe de la transmission plus ou moins facile des deux fluides électriques, selon la nature relative des conducteurs, doit être toujours pris en considération dans l'appréciation des effets électriques qui résulte de l'action chimique d'un liquide sur un métal. Enfin il conclut de toutes ces expériences que la force électromotrice qui pousse l'électricité positive dans l'un et l'électricité négative dans l'autre, est une force mystérieuse dont on ne peut constater l'existence.

Il avoue cependant qu'il y a des cas dans lesquels la cause qui donne naissance à l'électricité n'est pas facile à expliquer. Il cite particulièrement les effets que j'ai signalés dans le contact du peroxide de manganèse et d'autres substances non oxidables à l'air, avec l'or et le platine. Le savant génevois paraît croire que le peroxide de manganèse peut devenir négatif, comme certaines substances cristallines, par le fait d'un léger frottement, ou d'une simple pression ou d'une différence de température. Je me suis borné à rapporter succinctement quelques-uns des principaux faits consignés dans le travail de M. Delarive, travail qui est remarquable sous plusieurs rapports, mais que je ne trouve pas à l'abri de toute objection sur quelques points. Ce n'est pas ici l'occasion d'établir une polémique, ainsi je m'abstiens de toute discussion.

M. Pouillet a communiqué à l'Académie des sciences, dans la séance du 3 octobre 1831, un Mémoire sur la théorie des phénomènes thermo-électriques. Il avait fait connaître précédemment à l'Académie le principe suivant sur les courants thermo-électriques produits par un seul élément : une source thermo-électrique restant la même, l'intensité du courant qu'elle produit est en raison inverse de la longueur du circuit et en raison directe

de la section et de la conductibilité du fil ou de la tige métallique qui forme ce circuit.

Après avoir cherché à établir ce principe par l'expérience et en avoir présenté quelques applications, soit à la recherche de la conductibité électrique, soit à la mesure de la force magnétique de la terre, il a avancé que l'on pourrait l'employer aussi à comparer numériquement les intensités électro-magnétiques de tous les courants. C'est le résultat de ce travail qu'il a présenté à l'Académie, et qui renferme les expériences et les formules relatives aux phénomènes thermo-électriques.

Je me bornerai à rapporter ici quelques-uns des résultats auxquels il est parvenu : lorsque dans un circuit thermo-électrique composé de fils de différentes sections, la force élémentaire du courant est la même dans tous les points, si l'on prend des intervalles égaux sur ces différents fils, les courants dérivés se trouvent avoir des intensités différentes, qui sont à peu près en raison inverse des sections des fils dans l'intervalle de dérivation. Il a trouvé également que cette loi s'appliquait aux courants qui traversent des fils hétérogènes, en considérant non-seulement les sections, mais encore la conductibilité.

Lorsque plusieurs courants électriques se propagent dans l'intérieur des corps, chacun d'eux chemine librement comme s'il était seul, et sous ce rapport l'action quelconque qui constitue le mouvement de l'électricité, est analogue à celle qui constitue le mouvement de la chaleur ou de la lumière. Si ce fait est exact, il faut que dans une seule paire thermo-électrique dont les deux soudures sont à la même température, il y ait non pas repos et équilibre électrique, mais mouvement et propagation de deux courants égaux et opposés. Il est parvenu à constater ce fait, qui avait déja été reconnu par M. Marianini (1).

(1) Annal. de Ch. et de Phys,, t. XLII, p. 131.

M. Pelletier a communiqué, dans ces derniers temps, à l'Académie des sciences, une suite de recherches intéressantes, relatives aux causes des phénomènes électriques. Quoique les Mémoires qui les renferment n'aient pas encore été publiés, il m'a autorisé néanmoins à consigner dans cette notice les conséquences théoriques qu'il en a déduites. Ces conséquences, à la vérité, sont en opposition avec les idées généralement reçues; mais comme les faits sur lesquels elles s'appuient sont remarquables, j'ai cru devoir en faire mention ici, sans en discuter le mérite; je me bornerai donc à mon rôle d'historien.

On a déja vu l'hypothèse d'où M. Poisson est parti pour établir la théorie mathématique des phénomènes relatifs à l'électricité statique, hypothèse qui considère chacun des deux principes électriques qui, par leur réunion, forment l'électricité naturelle, comme un fluide incompressible dont les particules, douées d'une extrême mobilité, se repoussent mutuellement, tandis qu'elles attirent celles de l'autre fluide en raison inverse du carré de la distance.

Depuis la découverte d'OErsted, les phénomènes électriques ont été envisagés sous un autre point de vue. Là où on ne supposait jadis que de la matière en repos et pouvant se coërcer, on a dû voir, dans les courants électriques, une matière éthérée parcourant des circuits métalliques avec une vitesse infinie. On peut se demander dès lors comment se mouvement est transmis dans les conducteurs et les milieux environnants, si le courant est produit par le transport de la matière électrique, ayant lieu d'une manière continue et dans un sens déterminé, ou bien si celle-ci se propage par une suite de décompositions et de recompositions, comme on l'admet généralement. Les expériences de M. Savary sur l'aimantation des aiguilles d'acier placées à diverses distances d'un fil de métal parcouru par des décharges électriques, avaient montré qu'il était difficile de considérer les courants comme le résultat d'un fluide ordinaire en mou-

vement, puisque l'aimantation change de sens dans les aiguilles, suivant leur distance au fil conducteur. Pour expliquer ce phénomène, il avança l'hypothèse que le courant n'était qu'une suite d'oscillations transmises du fil conducteur au milieu environnant. M. Pelletier, immédiatement après la découverte des phénomènes d'induction par M. Faraday, a tâché de découvrir la nature du principe électrique dans les phénomènes statiques et dynamiques.

Je ne puis exposer ici toutes les expériences sur lesquelles il s'appuie pour établir sa théorie; je dirai seulement que l'une d'elles prouve la différence d'aptitude des métaux à se partager, par le contact, l'électricité statique. Je rapporterai aussi un fait contraire à la croyance qu'il y a assez ordinairement élévation de température dans les corps qui sont traversés par un courant électrique. M. Pelletier avait d'abord observé qu'un fil métallique moins bon conducteur que le cuivre, placé entre des fils de cuivre, avait une température plus élevée au côté négatif qu'au côté positif; il trouva ensuite qu'un courant renfermé dans certaines limites abaisse la température dans des lames de bismuth, d'antimoine et de certain fer à gros grains. Cet abaissement n'est pas le résultat du courant électrique seul, mais du courant et de l'arrangement des cristaux métalliques, car cet abaissement a lieu tantôt au côté positif, tantôt au côté négatif, selon les lames que l'on soumet à l'expérience. L'autre extrémité de la lame a toujours sa température élevée. Voici le résumé de ses recherches relatives à l'électricité seulement, car il les a étendues à la chaleur et à l'attraction moléculaire :

1° Quelle que soit la cause qui préside à l'attraction moléculaire, la cohésion ou l'adhésion est l'équilibre d'une résultante de forces actuellement agissantes et durables.

2° Les corps produits par ces forces peuvent être pénétrés par des mouvements éthérés, étrangers à leur constitution actuelle.

3° Lorsqu'un équilibre est rompu par l'intromission d'une nouvelle puissance, quelle qu'elle soit, il se forme un équilibre nouveau, dans lequel entre comme constituante cette nouvelle puissance.

4° Passer d'un équilibre à un autre équilibre, c'est exécuter un *mouvement* qui n'existait pas avant le changement d'état, et qui n'existe plus lorsque ce changement est accompli. Ce *mouvement* n'appartient ni à l'état ancien, ni à l'état nouveau des molécules; c'est un *mouvement de transition* qui naît, se propage, et s'éteint dans un mouvement indivisible. C'est de ce *mouvement transitoire* que ressortent les phénomènes électriques.

5° Dans tout mouvement de fluide élastique, il y a deux états distincts : le *mouvement*, pris abstractivement; et *l'inégal partage* de la substance exécutant le mouvement. Il y a donc par suite de ce *mouvement de transition*, *condensation* en avant de la projection, *dilatation* en arrière.

6° L'équilibre ne peut être rétabli que de deux manières, ou par une réaction en retour, ou par la propagation dans un circuit fermé de cette onde, qui vient replacer dans la portion dilatée la quantité qui en avait été projetée. Le premier rétablissement d'équilibre ne se manisfestant pas au dehors, n'a pu faire partie des observations : le second modifiant les corps que traverse la propagation de l'onde, est seul observable.

7° Le produit de tout mouvement sera donc double :

Celui résultant du mouvement ;

Celui résultant de l'inégal partage de la substance.

8° Les effets de ce *mouvement de transition* propagé dans l'éther interstitiel sont les phénomènes d'électricité dynamique. Elle ne peut ni se coërcer, ni se conserver; sa manifestation ne dure que l'instant indivisible de sa production.

9° Les effets de l'inégal partage de la substance éthérée, en dehors du mouvement, sont les phénomènes d'électricité statique. Cette électricité se recueille ,

se coërce et se conserve : sa manifestation n'est point instantanée à la production, mais immédiate. Les substances ont des capacités différentes à la recueillir et se la partager.

10° L'électricité dynamique n'existant que dans l'instant indivisible de sa création, il faut, pour avoir des phénomènes électriques constants, entretenir des causes perturbatrices constantes. Aussitôt qu'il y a équilibre, quelles que soient les forces permanentes ou transitoires qui y concourent, il n'y a plus de phénomènes électriques. C'est pourquoi l'induction magnétique ne produit qu'un courant instantané; l'élévation de température en produit jusqu'à ce qu'il y ait égalité, et la combinaison chimique jusqu'à l'épuisement de la dernière réaction. La cause des phénomènes électriques est donc toujours un produit et n'a point d'existence propre.

11° Les phénomènes d'*électricité statique* ne se manifestent qu'au moyen d'instruments qui recueillent et conservent l'inégalité de substance; ils sont *isolants* ou *isolés*. L'inégalité infère deux états : *l'état en plus* et *l'état en moins*. La tendance à s'équilibrer avec les corps produit les apparences d'attraction et de répulsion. Le mouvement de cette substance, au moment de l'équilibration, reproduit tous les phénomènes dynamiques.

12° Dans l'intérieur des corps, les réactions moléculaires étant égales en tous sens toute addition ou soustraction de la substance éthérée n'a qu'un effet insensible; il n'en est pas de même pour les molécules extrêmes, dont les sphères éthérées n'ont que des réactions incomplètes et diffuses, provenant des corps ambiants. Plus les sphères éthérées de ces molécules extrêmes auront de grandes portions libres, plus les portions seront soumises à l'état anomal de soustractions ou d'additions éthérées; c'est pourquoi les pointes et les crêtes contiennent plus d'électricité statique que les surfaces planes et concaves.

13° Lorsque l'attraction moléculaire est détruite par la permanence et l'énergie du courant électrique, si le

corps est simple, les molécules restent libres à leur place; il y a simple fusion. Si le corps est composé et que les parties aient des capacités différentes pour la substance éthérée, chacune de ces parties, attirantes et attirées, est entraînée vers le pôle contraire où elle s'équilibre.

14°. L'état contraire de l'hydrogène produit des effets analogues et un transport en sens inverse.

On ne peut disconvenir que cette théorie, présentée surtout comme je viens de le faire, ne soit un peu obscure; mais les faits sur lesquels elle s'appuie m'ont paru assez intéressants pour que j'en fasse mention dans cette notice.

§ XII. *De l'électricité atmosphérique.*

J'ai déja dit que Volta et Saussure avaient avancé que l'électricité atmosphérique provenait de l'évaporation qui a constamment lieu à la surface du globe, attendu que la vapeur, à l'instant où elle se forme dans un vase, emporte avec elle l'électricité positive et laisse au vase l'électricité contraire; mais je fis remarquer qu'ils n'avaient pas tenu compte, dans leurs expériences, des effets électriques résultant de l'action chimique du liquide sur la matière même du vase et de la séparation du liquide des matières qu'il tenait en dissolution. M. Pouillet en 1827 (1) a traité de nouveau cette question, en écartant les causes qui pouvaient produire des effets électro-chimiques; il parvint alors à prouver que la simple évaporation ne produit jamais d'électricité quand elle n'est pas accompagnée d'une action chimique quelconque, mais qu'il y a toujours de l'électricité dégagée quand l'eau tient en dissolution un sel ou un autre corps. Il fut toujours conduit par-là à la même conséquence que ses devanciers, savoir, qu'une partie de l'électricité atmosphérique doit être attribuée à l'évapo-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXV, p. 401, et t. XXVI, p. 5.

ration continuelle de l'eau de la mer, non pas par le fait même de l'évaporation, mais parce que l'eau abandonne les matières salines qu'elle tient en dissolution. Il a avancé en même temps qu'une autre source de l'électricité atmosphérique est la végétation; mais les expériences sur lesquelles il s'est appuyé ont encore besoin d'être répétées pour que les conséquences qu'il en a tirées puissent être considérées comme des vérités.

M. Auguste Delarive a fait à cet égard les observations suivantes (1) : « La végétation et les actions chi-« miques qui se passent à la surface du globe produi-« sent si peu d'électricité, et surtout donnent des signes « d'électricité dont la nature est si variable, qu'il est « bien difficile de leur attribuer l'électricité, constamment « positive dont se charge l'atmosphère. D'ailleurs (et « cette objection s'appliquait aussi bien à l'évaporation) « ce sont des phénomènes qui cessent presque entière-« ment pendant l'hiver, et cependant l'observation nous « apprend que l'atmosphère est chargée très-souvent « d'autant et quelquefois de plus d'électricité à cette « époque de l'année que dans les autres : quelle est alors « la cause qui a pu produire cet agent? ne doit-on pas « la rechercher dans un phénomène plus général que « ceux auxquels on a cru devoir l'attribuer jusqu'ici, sa-« voir, la distribution inégale de la température dans « l'atmosphère?» On peut voir page 241 de cette notice, que j'ai émis cette opinion il y a un certain nombre d'années.

Je ne crois pas que la végétation et les actions chimiques qui ont constamment lieu à la surface du globe soient la cause unique de cette énorme quantité d'électricité que l'on trouve dans l'atmosphère à de certaines époques. On ne peut expliquer non plus les états électriques contraires des nuages qui se succèdent rapidement dans le même lieu à l'instant d'un orage; il faut

---

(1) Essai historique sur l'électricité, p. 140.

encore que la chaleur joue un certain rôle dans ces imposants phénomènes atmosphériques dont nous sommes souvent témoins à l'époque des grandes chaleurs. La rencontre de deux nuages qui ne possèdent pas la même température doit jouer aussi un certain rôle. M. Delarive fait observer avec raison que les phénomènes d'évaporation sont très-faibles, pendant l'hiver, à des époques où l'atmosphère est cependant chargée d'une assez grande quantité d'électricité.

M. Colladon (1), avec son multiplicateur, s'est livré à quelques recherches sur l'électricité de l'atmosphère. Il a remarqué, et ce fait était conforme au mode de distribution de l'électricité sur une lame dont on échauffe l'un des bouts, que les nuages sont presque toujours chargés d'électricité contraire à leurs deux extrémités. Si ce fait important est constaté par de nouvelles observations, il prouvera qu'une cause quelconque développe l'électricité dans un nuage.

M. Schubler (2) a étudié aussi cette question sous le rapport de l'influence que peuvent avoir, sur les effets électriques de l'atmosphère, la température, la direction des vents, la chute de la pluie, etc., question qui, comme nous l'avons vu, a été traitée avec beaucoup de sagacité par Beccaria (3).

Le fluide électrique joue un rôle si important dans la nature, qu'on doit le rechercher partout où il existe; aussi était-il à désirer qu'on fît des observations suivies sur sa présence dans l'atmosphère. M. Arago, qui ne laisse jamais échapper l'occasion d'appliquer toutes les branches de la physique à la météorologie, a fait disposer à l'Observatoire un appareil où l'on observe régulièrement l'état électrique de l'air. Il a déja reconnu que, par un temps serein et sans nuages, l'électricité, comme on le savait déja, est toujours positive, et qu'il y a un maximum entre

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIII, p. 62.
(2) Bibl. univ., t. II, p. 93, et t. XLII, p. 203.
(3) Page 47 de cette notice.

sept et huit heures du matin et un minimum entre une heure et deux.

Au commencement de cette notice, on a vu que les anciens avaient souvent observé des aigrettes lumineuses à l'extrémité des piques des soldats; des phénomènes semblables ont été remarqués récemment en Afrique (1). Dans un temps d'orage, l'air est ordinairement chargé d'une grande quantité d'électricité qui ne peut s'écouler dans le globe, attendu le manque d'humidité; il doit en résulter par conséquent de nombreux effets électriques. Voici un de ces effets : Le 8 mai 1831, après le coucher du soleil, toute l'atmosphère était en feu, et annonçait un orage violent. On aperçut aux extrémités des mâts de pavillon, à Alger, une lumière blanche en forme d'aigrette, qui persista pendant une demi-heure; des officiers qui se promenaient sur une terrasse furent très-étonnés de sentir leurs cheveux se dresser et de voir une petite aigrette à chacun de ceux de leurs camarades. En élevant leurs mains, il se formait également des aigrettes au bout de leurs doigts. Toutes les personnes qui furent exposées ainsi à l'action de l'électricité atmosphérique éprouvèrent des contractions nerveuses dans les membres et une lassitude générale, principalement dans les jambes. Il faut attribuer cette grande quantité d'électricité dans l'atmosphère au peu d'eau hygrométrique qui s'y trouvait, car l'air par lui-même étant un très-mauvais conducteur, conserve l'électricité que diverses causes lui ont fait acquérir, si l'eau ne le lui enlève pas pour la transmettre à la terre.

J'ai déja dit quelques mots de l'expérience remarquable que fit Romàs, assesseur au présidial de Nérac, pour soutirer l'électricité des nuages à l'aide d'un cerf-volant. Je vais rapporter maintenant tous les détails de cette expérience importante, pour montrer l'efficacité des paratonnerres (2).

---

(1) Voyage dans la régence d'Alger, par M. Rozet, t. I, p. 152.
(2) Histoire de l'électricité, par Priestley, t. II, p. 205.

« Le cerf-volant avait 7 pieds et demi de hauteur et 3 de largeur; la corde était une ficelle de chanvre dans laquelle était entrelacé un fil de fer, et M. Romas l'ayant terminé par un cordon de soie, mit l'observateur, par une disposition particulière de son appareil, en état de faire toutes les expériences qu'il jugea à propos, sans courir aucun danger pour sa personne.

« Au moyen de ce cerf-volant, le 7 juin 1753, vers une heure après midi, après qu'il l'eut élevé à cinq cent cinquante pieds de terre au moyen d'une corde de sept cent quatre-vingts pieds de long, qui faisait un angle de près de quarante-cinq degrés avec l'horizon, il tira de son conducteur des étincelles de trois pouces de longueur et trois lignes d'épaisseur, dont le craquement se fit entendre à une distance de deux cents pas. En tirant ces étincelles, il sentit comme une espèce de toile d'araignée sur son visage, quoiqu'il fût à plus de trois pieds de la corde du cerf-volant; sur quoi il ne crut pas qu'il y eût de la sûreté pour lui de rester si proche, et il cria à tous les assistants de se retirer, et lui-même s'éloigna d'environ deux pieds.

« Se croyant alors en sûreté et n'ayant plus personne auprès de lui, il porta son attention sur ce qui se passait dans les nuages qui étaient immédiatement au-dessus du cerf-volant; mais il n'aperçut d'éclair ni là, ni nulle autre part, ni même le moindre bruit de tonnerre, et il ne tomba point du tout de pluie. Le vent, qui venait de l'ouest et était assez fort, éleva le cerf-volant de cent pieds au moins plus haut qu'auparavant.

« Ensuite, jetant les yeux sur le tube de fer-blanc qui était attaché à la corde du cerf-volant, et à environ trois pieds de terre, il vit trois pailles, dont une avait près d'un pied de longueur, la seconde quatre à cinq pouces, et la troisième trois ou quatre pouces, se lever toutes droites, et former une danse circulaire comme des marionnettes sous le tube de fer-blanc et sans se toucher l'une l'autre. Ce petit spectacle, qui réjouit beaucoup plusieurs personnes de la compagnie, dura près

d'un quart d'heure; après quoi, quelques gouttes de pluie étant tombées, il sentit encore la toile d'araignée sur son visage, et en même temps il entendit un bruit continu, semblable à celui d'un petit soufflet de forge. Ce fut un nouvel avertissement de l'accroissement de l'électricité et, dès le premier instant que M. de Romas aperçut sauter la paille, il n'osa plus tirer aucune étincelle, même avec toutes les précautions et il pria de nouveau les spectateurs de s'éloigner encore davantage.

« Immédiatement après arriva la dernière scène, et M. de Romas avoua qu'elle le fit trembler. La plus longue paille fut attirée par le tube de fer-blanc, sur quoi il se fit trois explosions dont le bruit ressemblait fort à celui du tonnerre. Quelqu'un de la compagnie le compara à l'explosion des fusées volantes, et d'autres au bruit que ferait une grande jarre de terre en se brisant contre un pavé. Il est certain qu'on l'entendit du milieu de la ville, malgré les différents bruits qui s'y faisaient.

« Le feu qu'on aperçut à l'instant de l'explosion avait la figure d'un fuseau de huit pouces de long et cinq lignes de diamètre; mais la circonstance la plus étonnante et la plus amusante fut que la paille qui avait occasioné l'explosion suivit la corde du cerf-volant. Quelqu'un de la compagie la vit, à quarante-cinq ou 50 brasses de distance, attirée et repoussée alternativement, avec cette circonstance remarquable, qu'à chaque fois qu'elle était attirée par la corde, on voyait des éclats de feu et on entendait des craquements, qui n'étaient cependant pas si éclatants que dans le moment de la première explosion.

« Il faut remarquer que, depuis le temps de l'explosion jusqu'à la fin des expériences, on ne vit point du tout d'éclairs et à peine entendit-on du tonnerre. On sentit une odeur de soufre fort approchante de celle des écoulements électriques lumineux qui sortent du bout d'une barre de métal électrisée. Il parut autour de la

corde un cylindre lumineux, de trois à quatre pouces de diamètre; et comme c'était pendant le jour, M. de Romas ne douta pas que, si c'eût été pendant la nuit, cette atmosphère électrique n'eût paru de quatre à cinq pieds de diamètre. Enfin, après que les expériences furent terminées, on découvrit un trou dans le terrain, précisément sous le tuyau de fer-blanc, d'une grande profondeur et d'un demi-pouce de largeur, qui probablement fut fait par les grands éclats qui accompagnèrent les explosions.

« Ces expériences remarquables finirent par la chute du cerf-volant, attendu que le vent passa tout-à-coup à l'est, et qu'il survint une pluie très-abondante, mêlée de grêle. Lorsque le cerf-volant tomba, la corde s'accrocha sur un auvent, et ne fut pas sitôt dégagée, que celui qui la tenait éprouva un tel coup à ses mains et une telle commotion dans tout son corps, qu'il fut obligé de la lâcher, et la corde tombant sur les pieds de quelques autres personnes leur donna aussi un coup, mais bien plus supportable.

« La quantité de matière électrique que ce cerf-volant tira une autre fois des nuées est réellement étonnante. Le 28 août 1756, on en vit sortir des courants de feu d'un pouce d'épaisseur et de dix pieds de longueur. Cet éclat surprenant, qui aurait peut-être produit des effets aussi pernicieux qu'aucun dont il soit fait mention dans l'histoire, fut conduit avec sécurité, par la corde du cerf-volant, à un conducteur placé tout auprès, et le bruit en fut égal à celui d'un pistolet. »

Charles, qui a fait des expériences semblables à celles de Romas, mais en bien plus grand nombre, a obtenu quelquefois des effets plus extraordinaires encore; il ne doutait pas, comme il le disait, qu'il n'eût désarmé le nuage orageux.

Je crois qu'il n'est pas inutile de rapporter quelques exemples des effets les plus remarquables de la foudre. Je commencerai par la relation des événements arrivés

à Châteauneuf-les-Moutier, le 11 juillet 1819, par l'effet du tonnerre (1).

« Ce village de Château-les-Moutier (département des Basses-Alpes) est situé au sommet et à l'extrémité de l'une des premières montagnes des Alpes, qui forment un amphithéâtre sur Moutier. Il consiste en quatorze maisons réunies au presbytère et à l'église paroissiale, sur une éminence coupée par les angles de deux autres montagnes, l'une au levant, l'autre au couchant....

« Le 11 juillet 1819, jour du dimanche, M. Salomé, curé de Moutier, alla à Châteauneuf pour y installer un nouveau recteur. Vers les 10 h., on se rendit en procession de la maison curiale à l'église. Le temps était beau ; on remarquait seulement quelques gros nuages. La messe fut commencée par le nouveau recteur.

« Un jeune homme de dix-huit ans qui avait accompagné M. le curé de Moutier chantait l'épître, lorsqu'on entendit trois détonations de tonnerre, qui se succédèrent avec la rapidité de l'éclair. Le missel lui fut enlevé des mains et mis en pièces; il se sentit lui-même serré étroitement au corps par la flamme, qui le prit de suite au cou. Alors, par un mouvement involontaire, ce jeune homme, qui avait d'abord jeté de grands cris, ferma la bouche, fut renversé, roulé sur les personnes rassemblées dans l'église, qui toutes avaient été terrassées, et jeté ainsi hors la porte.

« Revenu à lui, sa première idée fut de rentrer dans l'église pour se rendre auprès de M. le curé de Moutier, qu'il trouva asphyxié et sans connaissance. Ce jeune homme fixa sur ce respectable et infortuné pasteur l'attention et les soins de ceux qui, légèrement blessés, pouvaient donner des secours. On le releva, on éteignit la flamme de son surplis, et par le moyen du vinaigre

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XII, p. 354. Cette relation a été envoyée à l'Académie des sciences par M. Trencalye, vicaire-général de Digne, qui a fait remarquer que l'on sonnait la cloche à l'instant où la foudre est tombée.

on le rappela à la vie, environ deux heures après son étourdissement. Il vomit beaucoup de sang. Il assure n'avoir pas entendu le tonnerre et n'avoir rien vu de ce qui se passait. On le porta au presbytère. Le fluide électrique avait touché fortement la partie supérieure du galon de son étole, coulé jusqu'au bas, enlevé un de ses souliers, qu'il porta à l'extrémité de l'église, et brisé la boucle de métal. Le siége sur lequel il était assis fut brisé.

« Le lendemain, M. le curé fut transporté dans son presbytère, à Moutier, pour être pansé de ses blessures, qui n'ont été cicatrisées que deux mois après. Il avait une escarre de plusieurs travers de doigt à l'épaule droite; une autre s'étendant du milieu postérieur du bras du même côté jusqu'à la partie moyenne et extérieure de l'avant-bras; une troisième escarre, profonde, partait de la partie moyenne et postérieure du bras gauche et allait jusqu'à la partie moyenne de l'avant-bras du même côté; une quatrième, plus superficielle et moins étendue, au côté externe de la partie inférieure de la cuisse gauche, et une cinquième sur la lèvre supérieure jusqu'au nez. Il a été fatigué d'une insomnie absolue pendant près de deux mois; il a eu les bras paralysés, et souffre des différentes variations de l'atmosphère.

« Un jeune enfant fut enlevé des bras de sa mère et porté à six pas plus loin. On ne le rappela à la vie qu'en lui faisant respirer le grand air. Tout le monde avait les jambes paralysées. Toutes les femmes, échevelées, offraient un spectacle horrible. L'église fut remplie d'une fumée noire et épaisse. On ne pouvait distinguer les objets qu'à la faveur des flammes des parties de vêtements allumés par la foudre.

« Huit personnes restèrent sur la place; une fille de dix-neuf ans fut transportée sans connaissance à sa maison et expira le lendemain matin en proie aux douleurs les plus horribles, à en juger par ses hurlements; de sorte que le nombre des personnes mortes est de neuf; celui des blessés est de quatre-vingt-deux.

« Le prêtre célébrant ne fut point atteint de la foudre, sans doute parce qu'il avait un ornement de soie.

« Tous les chiens qui étaient dans l'église furent trouvés morts, dans l'attitude qu'ils avaient auparavant.

« Quoiqu'on ne puisse pas suivre de l'œil toutes les opérations subtiles du fluide électrique, on peut quelquefois en juger par les effets.

« Une femme qui était dans une cabane, à la montagne de Barbin, au couchant de Châteauneuf, vit tomber successivement trois masses de feu, qui semblaient devoir réduire ce village en cendres.

« Il paraît que la foudre frappa d'abord la croix du clocher, qu'on trouva plantée dans la fente d'un rocher à une distance de 16 mètres. Le feu électrique pénétra ensuite dans l'église par une brèche qu'il fit à la voûte, à la distance d'un demi-mètre de celle par où passe la corde d'une cloche; la chaire fut écrasée. On trouva dans l'église une excavation d'un demi-mètre de diamètre, prolongée sous les fondements du mur jusque sur le pavé de la rue, et une autre qui rentrait sous les fondements d'une écurie qui est en dessous, et où l'on trouva morts cinq moutons et une jument. »

Voici d'autres effets de la foudre sur un vaisseau, non moins remarquables que les précédents; je les tire d'une relation rédigée par MM. W. Scoresby (1) :

Le paquebot appelé *New York*, parti d'Amérique le 16 avril, se trouva le 18 près de la limite orientale du Gulf-Stream, sur le parallèle du 38° nord. Jusque-là le temps avait été magnifique; mais à neuf heures du soir, le baromètre commença à descendre, et le 19, à une heure du matin, le mercure était à 29° 4'; le vent, qui dans la soirée avait soufflé avec force du nord-ouest, devint variable et tempétueux; le ciel se chargea

(1) Mém. présenté à l'Acad. des sc. de l'Institut de France, t. IV, p. 697.

de nuages, et des giboulées et de la grêle tombèrent alternativement.

A cinq heures et demie du matin, la foudre tomba avec un grand fracas sur le navire, et remplit tous les cabinets de nuages épais d'une fumée sulfureuse. Tous les éléments pendant l'orage étaient dans une violente commotion. La mer était dans un bouillonnement continuel, comme par l'action d'un nombre considérable de petits volcans sous-marins. On apercevait alors trois colonnes d'eau qui s'élançaient dans les airs et retombaient ensuite en écumant dans la mer, qu'elles agitaient avec force.

Dans une seconde décharge sur le bâtiment, qui s'opéra le long d'une chaîne métallique, que le capitaine fit attacher par un de ses bouts à un des mâts, tandis que l'autre plongeait dans la mer (ce conducteur consistait en une baguette de fer, terminée en pointe, d'environ quatre pieds de long et s'ajustait à une chaîne de même métal), le bâtiment parut tout en feu par l'effet de la décharge, la chaîne de communication fut fondue par degrés. Concentré par le conducteur dans un fort courant, le feu électrique se dispersait aussitôt qu'il pénétrait dans la mer; mais une vapeur lumineuse paraissait remonter de la mer jusqu'aux nuages, pendant que la réaction qui s'opérait sur le navire était si violente, que quelques individus tombèrent à la renverse sur le pont.

Le navire parut embrasé une seconde fois; toutes les parties du vaisseau furent remplies, comme auparavant, de vapeurs sulfureuses, qui étaient si épaisses, qu'il était impossible de rien distinguer à deux pas de distance. Un des passagers éprouva un effet singulier des deux décharges. Un homme d'un âge avancé, infirme et d'un embonpoint remarquable, dormait dans son lit; il était si peu en état de prendre de l'exercice, que, depuis trois ans, il n'avait pas marché l'espace d'un demi-mille, et qu'il n'avait même pas paru sur le pont depuis le com-

mencement du voyage. Mais, après les deux décharges, ce même homme quitta son lit, monta sur le pont, et alla d'un côté et d'autre avec beaucoup d'aisance et sans manifester la moindre gêne, mais dans un état d'aberration mentale. Par bonheur, le dérangement de ses facultés intellectuelles ne fut que momentané, et l'influence bienfaisante de l'électricité sur ses infirmités fut plus durable; car, non-seulement il conserva l'usage de ses jambes pendant tout le reste du voyage, mais il fut même en état, quand on fut débarqué, de faire à pied une assez longue course pour se rendre à son hôtel.

Les autres effets de la foudre furent la fusion de la plus grande partie de la chaîne, qui tomba en globules ou petits fragments sur le pont, brûlant le bois et les sabords en cinq endroits différents, quoique le pont fût dans ce moment inondé de grêlons de trois à quatre pouces d'épaisseur; les boussoles, les montres et les chronomètres furent dérangés.

Les clous des panneaux rompus des cabinets, et ceux des cloisons qui traversaient le navire, les ferrures du mât et celles du pont, et notamment des cercles en fer de la grande vergue, et un cercle du grand mât qui était tombé sur le pont, étaient non-seulement magnétiques, comme leur position donnait lieu de l'attendre, mais possédaient encore un degré de polarité bien plus considérable qu'on n'eût pu l'obtenir à l'aide d'un magnétisme purement terrestre.

Les couteaux et les fourchettes étaient parvenus à un haut degré des facultés de l'aimant; un petit couteau de dessert leva par la pointe un petit clou qui pesait cinq grains trois quarts; un couteau de table, dont le bout était arrondi, enleva facilement un clou de dix-huit grains; un autre couteau enleva une clef pesant cent cinq grains, et même attira à lui et enleva une clef avec un anneau de deux cent vingt-huit grains; enfin, tous les instruments d'acier qui se trouvaient sur le navire étaient pourvus, à différents degrés, de propriétés magnétiques.

Dans ces dernières années le tonnerre ayant frappé

plusieurs édifices publics, l'Académie des sciences chargea une commission, composée de MM. Poisson, Lefèbre-Gineau, Girard, Dulong, Fresnel et Gay-Lussac, de rédiger une instruction sur les paratonnerres; la commission choisit pour son rapporteur M. Gay-Lussac (1). Cette instruction est divisée en deux parties: la première présente un résumé de l'état de nos connaissances sur la foudre et les paratonnerres; la seconde contient les principes sur lesquels la pose des paratonnerres est fondée, ainsi que les résultats que l'observation et l'expérience ont fournis.

Un paratonnerre est tout simplement (comme nous l'avons déja vu) une barre de métal élevée sur les édifices que l'on veut préserver, et qui communique sans solution de continuité jusqu'à l'eau ou un terrain humide. Quand il offre des solutions de continuité ou qu'il ne communique pas directement avec un sol humide, il peut en résulter des dégâts graves dans le bâtiment, comme on en a un grand nombre d'exemples.

La forme d'un paratonnerre doit être celle d'un cône très-aigu; quant à la longueur de la tige, plus elle sera grande, mieux cela vaudra.

La distance à laquelle un paratonnerre étend son action n'est pas encore bien connue; mais d'après des observations qui ont été faites par plusieurs artistes, on croit savoir que les portions des édifices qui sont placées à une distance de la tige du paratonnerre de plus de trois à quatre fois sa longueur ont été foudroyées. Charles, qui s'était beaucoup occupé de cette question, pensait qu'un paratonnerre pouvait étendre son action autour de lui dans un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. On a toujours suivi cette règle jusqu'ici dans la pose des paratonnerres.

Quand la foudre traverse des fils ou lames de métal, elle élève leur température suivant son intensité et les

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVI, p. 158.

dimensions de ces fils. On a reconnu jusqu'ici, par l'expérience, que la foudre n'a pas encore fondu ou même fait rougir une barre de fer de treize ou quatorze millimètres, ou un cylindre de ce diamètre; quant à sa hauteur, on lui en donne une ordinairement de cinq à dix mètres. Le conducteur du paratonnerre est ordinairement une barre de fer de seize à vingt millimètres (sept à neuf lignes) carrés. M. Gay-Lussac pense qu'on pourrait le faire plus petit et se servir d'un simple fil de métal, pourvu qu'arrivé à la surface du sol, on le mît en communication avec une barre de métal de dix à treize millimètre (cinq à six pouces), qui s'enfonçât dans la couche humide.

M. Gay-Lussac indique ensuite toutes les précautions que la prudence peut suggérer pour se préserver des effets de la foudre et passe en revue ceux qui sont les plus ordinaires : elle met le feu à toutes les matières ténues qui entrent facilement en combustion, telles que le foin, la paille, le coton ; mais elle enflamme rarement les matières compactes, telles que les bois, à moins qu'ils ne soient vermoulus : ordinairement elle les déchire et les divise en lames très-minces comme des lattes, ou bien glisse sur leur surface. On peut expliquer par-là comment il se fait qu'elle met le feu à des vêtements légers sur un individu sans lui causer souvent aucun sentiment de brûlure ; c'est par une raison semblable qu'elle volatilise la dorure des lambris dorés sans les enflammer. Quand elle frappe les animaux, elle les fait périr, soit en déterminant des lésions dans les organes et le système vasculaire, soit en paralysant le système nerveux. Les animaux ainsi frappés entrent promptement en putréfaction, comme tous ceux qui sont atteints d'une mort violente.

M. Gay-Lussac attribue l'acescence du lait et la corruption des chairs, dans les temps d'orage, à la température élevée qui règne alors et aux courants de matière électrique, qui agissent dans ce cas comme force chimique.

Dans la seconde partie du rapport, il donne des détails relatifs à la construction des paratonnerres. Il recommande d'abord, en raison de la prompte altération du fer à l'eau et à l'air, de substituer à la pointe du paratonnerre qui serait promptement émoussée, une tige conique de cuivre jaune, dorée à son extrémité et terminée par une petite aiguille de platine.

Je ne puis donner ici tous les détails de construction dans lesquels il entre; je me bornerai seulement à dire qu'il recommande, toutes les fois que le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme des pièces métalliques un peu considérables, comme des gouttières, des lames de plomb, etc., de les mettre toutes en communication avec le conducteur. Il termine son rapport par des considérations sur leur efficacité. Je ne saurais mieux faire que de rapporter les observations qu'il fait à cet égard :

« Une expérience de cinquante années sur l'efficacité des paratonnerres démontre que, lorsqu'ils ont été construits avec les soins convenables, ils garantissent de la foudre les édifices sur lesquels ils sont placés. Dans les États-Unis d'Amérique, où les orages sont beaucoup plus fréquents et plus redoutables qu'en Europe, leur usage est devenu populaire. Un très-grand nombre de bâtiments ont été foudroyés, et l'on en cite à peine deux qu'ils n'aient pas mis entièrement à l'abri des atteintes de la foudre. Tout le monde sait que les parties métalliques sur un édifice sont frappées de préférence par la foudre, et ce fait seul démontre l'efficacité des paratonnerres, qui ne sont que des barres métalliques disposées de la manière la plus avantageuse, d'après les connaissances acquises sur la matière électrique par la théorie et l'expérience. La crainte d'une chute plus fréquente de la foudre sur les édifices armés de paratonnerres n'est pas fondée, car leur influence s'étend à une trop petite distance pour qu'on puisse croire qu'ils déterminent la foudre d'un nuage à se précipiter dans le lieu où ils sont établis. Il paraît au contraire certain, d'après l'obser-

vation, que les édifices armés de paratonnerres ne sont pas foudroyés plus fréquemment qu'avant qu'ils ne le fussent. D'ailleurs, la propriété d'un paratonnerre d'attirer plus fréquemment la foudre supposerait aussi celle de la transmettre librement dans le sol, et dès lors il ne pourrait en résulter aucun inconvénient pour la sûreté des édifices.

« Nous avons recommandé l'usage des pointes aiguës pour les paratonnerres, parce qu'elles ont l'avantage, sur les barres arrondies à leur extrémité, de verser continuellement dans l'air, sous l'influence du nuage orageux, un torrent de matière électrique de nature contraire à la sienne, qui doit très-probablement se diriger vers celle du nuage et en partie la neutraliser. Cet avantage n'est point du tout à négliger; car il suffit de connaître le pouvoir des pointes et les expériences de Charles et de Romas avec un cerf-volant sous un nuage orageux, pour rester convaincu que les paratonnerres en pointe, s'ils étaient plus multipliés et placés sur des lieux élevés, diminueraient réellement la matière électrique des nuages et la fréquence de la chute de la foudre sur la surface de la terre.

« Cependant, lorsque la pointe d'un paratonnerre aura été émoussée par la foudre ou par une cause quelconque, il ne faudra pas croire, parce qu'elle aura perdu l'avantage dont on vient de parler, qu'elle ait aussi perdu son efficacité pour protéger le bâtiment qu'elle est destinée à défendre. Le docteur Rittenhouse rapporte qu'ayant souvent examiné et passé en revue, avec un excellent télescope de réflexion, les pointes des paratonnerres de Philadelphie, où ils sont en grand nombre, il en a vu beaucoup dont les pointes étaient fondues, mais qu'il n'a jamais appris que les maisons où ces paratonnerres étaient établis eussent été frappées de la foudre depuis la fusion de leurs pointes. Or, cela n'aurait pas manqué d'arriver à quelques-unes, au moins au bout d'un certain temps, si leurs paratonnerres n'avaient pas continué de bien faire leurs fonctions; car on sait, par nombre d'observations, que, lorsque le tonnerre est tombé en quel-

que endroit, il n'est pas rare de l'y voir retomber encore.»

La formation de la grêle attire depuis long-temps l'attention des physiciens, sans qu'on ait pu résoudre cette question. Ce phénomène, qui a été considéré par Volta comme un effet de l'électricité, doit être mentionné ici. Il a cherché à expliquer les deux effets principaux de la grêle : la production du froid qui congèle l'eau, et l'accroissement successif du grêlon qui reste suspendu dans l'air le temps nécessaire pour acquérir quelquefois un volume assez considérable, qui va jusqu'à un pied de diamètre, dit-on. Nous savons que la grêle précède ordinairement les pluies d'orage, tombe plus fréquemment le jour que la nuit, et que les nuages qui la portent ont beaucoup d'épaisseur, puisqu'ils répandent souvent une obscurité très-grande et présentent sur les bords des déchirures multipliées, tandis que leur surface inférieure est couverte de protubérances considérables.

On ne paraît pas d'accord sur la hauteur où ces nuages sont placés; mais les physiciens le sont généralement sur un autre phénomène qui précède toujours de quelques minutes la chute de la grêle, c'est une espèce de bruissement que l'on entend dans les airs et qui est quelquefois assez fort. Je dois ajouter que le tonnerre se fait entendre ordinairement avant le bruissement et même pendant la chute de la grêle. Telles sont les données à l'aide desquelles Volta a imaginé une théorie de la formation de la grêle.

Ce grand physicien pensait que les rayons du soleil, en tombant sur la surface supérieure d'un nuage très-dense, étant absorbés, déterminent une évaporation instantanée qui produit assez de froid pour congeler l'eau. M. Bellani a combattu victorieusement cette explication. Quant à l'accroissement successif des grêlons, Volta admet que lorsque, une fois formés, ils se trouvent entre deux nuages chargés d'électricité contraire, l'un au-dessus, l'autre au-dessous, dès l'instant qu'ils tombent sur les nuages inférieurs, en y pénétrant ils se couvrent

d'une nouvelle couche de glace et prennent aussitôt l'électricité même du nuage qui les repousse, en même temps qu'ils sont attirés par le nuage supérieur. En arrivant au nuage supérieur, ils éprouvent des effets analogues, puis retombent et ainsi de suite, jusqu'à ce que les grêlons aient acquis trop de poids pour que la pesanteur l'emporte sur l'action des forces électriques; alors leur chute s'effectue sur la terre.

Volta, pour compléter sa théorie, fut obligé d'indiquer les causes qui déterminent la formation de deux nuages superposés l'un au-dessus de l'autre et chargés d'électricité contraire; il leur assigna une origine électrique; en conséquence, il s'appuya sur les effets électriques produits dans la prompte évaporation de l'eau par les rayons solaires, effets qui ne peuvent avoir lieu de la manière dont il l'envisageait, puisquil croyait que les vapeurs en se formant s'électrisaient négativement et positivement en se condensant.

Je n'entreprendrai pas ici de discuter le mérite de cette théorie, attendu que je ne suis simplement qu'historien.

De même qu'on était parvenu à soutirer la foudre des nuages, au moyen de tiges métalliques pointues, de même aussi on a cru, dans ces derniers temps, à l'aide de grandes perches fichées en terre et auxquelles on donne le nom de paragrêles, avoir découvert le moyen de préserver des campagnes entières des terribles effets de la grêle. Ces paragrêles sont des perches de vingt ou trente pieds, terminées par des pointes de cuivre ou de fer placées à leur partie supérieure, et que l'on enfonce en terre verticalement par l'autre extrémité. Un fil de métal ou une corde de paille établit la communication entre la pointe métallique et la terre. Ces perches sont multipliées par milliers, et l'on a supposé que la grêle ne pouvait se former dans les pays qui étaient ainsi armés.

Si la grêle était un effet de l'électricité et que toutes ces perches fussent d'excellents conducteurs, il n'y a pas le moindre doute qu'en en couvrant le pays, on parviendrait à décharger l'atmosphère de l'électricité qu'elle

renferme, et l'on conjurerait par ce moyen la grêle; mais avec des conducteurs semblables à ceux dont nous venons de parler, il est impsosible qu'ils puissent servir à soutirer convenablement toute l'électricité. Si, au contraire, l'électricité est un effet et non une cause, les paragrêles ne sont encore d'aucune utilité. Ainsi, dans tout état de cause, ils ne servent à rien.

L'électricité atmosphérique produit encore des effets physiques et chimiques, dont nous avons rapporté quelques-uns dans la première période; il en est d'autres que nous avons omis et qui trouvent naturellement ici leur place. On a remarqué depuis long-temps que les cimes des hautes montagnes portent toutes l'empreinte de la chute de la foudre. On y trouve des traces de déchirement ou de fusion. Au haut du Mont-Blanc, M. de Saussure a observé des effets de ce genre dans l'amphibole schisteux. M. de Humboldt en a observé de semblables sur la sommité du volcan de Toluca.

Nous devons rapporter aussi à l'électricité la formation des tubes vitreux qui ont été découverts dans plusieurs contrées, et particulièrement dans les plaines sablonneuses de la Silésie et de la Prusse orientale. Ces tubes (1) ont été observés pour la première fois par le pasteur Herman en Silésie. On les a retrouvés depuis, en 1806, dans les landes de Paderborn et ensuite dans d'autres localités. Ces derniers ont été formés au milieu de buttes de sables mouvants, de quarante pieds de hauteur, dans le voisinage de la mer. Ils sont presque toujours creux. On leur a donné le nom de tubes fulminaires, ils ont été formés lors du passage de la foudre dans le sable, et ont quelquefois jusqu'à vingt et trente pieds de longueur. Leur surface intérieure est parfaitement vitrifiée, tandis que leur surface extérieure est rugueuse et couverte d'aspérités. A une certaine profondeur, ils se divisent souvent en plusieurs branches. Le D[r] Fiedler, qui a fait de nombreuses observations sur ce phénomène,

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XIX, p. 290.

a observé que, dans ces plaines, il y a toujours des nappes d'eau, dont l'action par influence a déterminé la chute de la foudre.

MM. Savart, Hachette et Beudant ont formé des tubes semblables à ceux dont nous venons de parler, en faisant passer la décharge d'une très-forte batterie électrique à travers du verre pilé. Ce résultat ne laisse aucun doute sur l'origine des tubes du Dr Fiedler et de ceux qui avaient été observés avant lui.

§ XIII. *Des effets physiologiques de la pile et de son application à la médecine.*

Dans cette période, les effets physiologiques de la pile n'ont pas attiré autant l'attention des médecins que dans la seconde période. Dès l'instant qu'ils ont vu qu'ils ne pouvaient faire une application immédiate de l'électricité à l'art de guérir, ils se sont abstenus, à l'exception d'un très-petit nombre, de se livrer à de nouvelles recherches sur le mode d'action de cet agent puissant. Dans les sciences, il ne faut pas se borner à rechercher les faits qui ont une application directe aux usages ordinaires; ce qu'il faut découvrir, ce sont les principes, car les applications viennent ensuite. C'est là où doit tendre tout esprit véritablement philosophe.

Néanmoins, on n'a pas abandonné tout-à-fait les recherches relatives à l'action des courants électriques sur l'économie animale. Nous avons déja vu que l'on déterminait des contractions dans la grenouille, non-seulement en armant les muscles et les nerfs de lames de métaux différents, mais encore en employant des alcalis et des acides. M. le Dr Edwards a reconnu que l'on pouvait également exciter la grenouille en frottant, avec un corps quelconque, métallique ou non, le nerf d'une grenouille nouvellement (1) écorchée, quand il est appliqué sur un corps isolant. Il résulte de là que l'é-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXII, p. 116.

lectricité n'est pas un moyen exclusif d'exciter les contractions. Car il est difficile d'admettre que dans ce cas-ci, elle soit la cause du phénomène.

M. Wilson Philip ayant coupé les nerfs de la huitième paire, chercha si on ne pourrait pas remplacer, par des courants électriques, leur action sur l'estomac. Ayant fait passer un courant entre les deux parties séparées et réunies au moyen d'un fil métallique, il observa que la digestion et la respiration, qui avaient été très-difficiles après cette section, devinrent très-faciles aussitôt que la pile commença à fonctionner. Je ne sais jusqu'à quel point ce résultat peut être attribué à l'électricité, car je crois que d'autres physiologistes ont obtenu le même résultat, en rapprochant les deux parties coupées et faisant une ligature. Si ce fait est bien constaté, l'influence de l'électricité aurait été nulle dans l'expérience de M. Wilson.

M. Marianini (1) a étudié de nouveau les phénomènes de contraction, en ce qui concerne particulièrement le fait qui avait été remarqué par Pfaff et d'autres observateurs (2), savoir, que la grenouille est excitée tout aussi bien quand on rompt le circuit que lorsqu'on le ferme. Si l'on établit la communication entre les muscles et les nerfs, au moyen d'un arc cuivre et zinc, la contraction est plus forte à l'instant du contact, quand le zinc touche le nerf et le cuivre le muscle que lorsqu'on opère d'une manière inverse; tandis que le contraire a lieu quand on rompt la communication.

M. Marianini a avancé qu'on ne pouvait expliquer la contraction, au moment où l'on interrompt le circuit, en admettant qu'elle provient d'un refoulement que le courant aurait éprouvé par l'obstacle qu'il rencontre. Il suppose dès lors qu'il existe deux sortes de contractions, les contractions idiopathiques et les contractions sympathiques. Les premières, qui sont produites

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XL, p. 225.
(2) Page 87 de cette notice.

par l'action immédiate de l'électricité sur les muscles, ont lieu quelle que soit la direction suivie par le courant qui entre dans les muscles; et les secondes, qu'il attribue à l'action de l'électricité sur les nerfs, se manifestent quand le courant parcourt les nerfs dans le sens de leurs ramifications. Dans le cas où il parcourt les nerfs en sens contraire, il en résulte une sensation, et non une contraction; celle-ci n'est produite que lorsqu'on interrompt le courant. Quand le courant parcourt les nerfs dans le sens de leurs ramifications, l'animal paraît éprouver une sensation au moment où l'on interrompt le courant, et dans ce cas il n'y a contraction que lorsqu'on établit le courant. Il a cru convenable d'adopter cette distinction pour expliquer la différence des effets que nous avons signalés.

M. Marianini part de l'existence des deux espèces de contraction qu'il a établies, pour expliquer pourquoi, lorsque l'on met en communication chacune des mains avec l'un des pôles d'une pile, on éprouve toujours une commotion plus forte dans le bras qui est en contact avec le pôle positif que dans l'autre (1). En général, il explique par le même moyen la commotion la plus vive qu'éprouve le membre qui est parcouru par le courant dans le sens de la ramification des nerfs.

M. Nobili (2) n'a pas admis les conséquences que M. Marianini a tirées de son travail. Ayant examiné avec soin les contractions sur la grenouille produites par un courant électrique, dirigé tantôt dans le sens des ramifications des nerfs, tantôt en sens contraire, il crut apercevoir que le courant détermine dans le nerf des altérations différentes qu'il nomme, l'une directe dans le premier cas, l'autre inverse dans le second. On ne peut apercevoir ces altérations que lorsque le courant a parcouru le nerf pendant quelque temps. Quant à la

(1) Bibl. univ., t. XLVII, p. 287.
(2) Bibl. univ., t. XLIV, p. 48 et 165.

contraction, elle provient du passage du nerf d'un état à l'autre, c'est-à-dire ou de l'état naturel à l'état d'altération, et réciproquement, ou de l'état d'altération directe à l'état d'altération inverse, et réciproquement. Il indique ensuite les causes d'où dépend l'intensité des contractions, ainsi que celles qui font varier leurs lois. Quant aux altérations dont il parle, il admet qu'elles ne changent rien à la structure des nerfs, et qu'elles ne font seulement que modifier leur excitabilité. Les hypothèses qui ont été faites par MM. Marianini et Nobili pour expliquer les contractions, suivant que le courant suit les ramifications des nerfs ou chemine dans une direction opposée, prouvent assez que le phénomène est d'un ordre très-composé.

M. Nobili a cru trouver dans les faits qu'il a observés un remède contre le tétanos et certaines paralysies. Voici ce qu'il dit à cet égard (1) : « Les contractions de « la grenouille multipliées au point de produire un téta- « nos artificiel, s'obtiennent en interrompant et en réta- « blissant le circuit coup sur coup. Dans ces alternatives, « le nerf change continuellement d'état; il passe d'une « manière brusque de sa disposition naturelle à une dis- « position altérée, et réciproquement. Il est donc pro- « bable que le tétanos naturel est aussi dû à des alterna- « tives de ce genre indépendantes de tout principe de « désorganisation. En étudiant une grenouille atteinte « du tétanos le mieux prononcé, j'observai qu'elle per- « sistait dans cet état sous l'action d'un certain courant, « détendait complétement ses membres sous l'action d'un « courant contraire. A cette époque, je tentai plusieurs « fois la même expérience sur d'autres individus frappés « du tétanos sans revoir jamais le même phénomène. « Peut-être avais-je employé la première fois un courant « plus énergique, etc. J'ai récemment observé le même « fait sur deux autres individus, etc. »

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIV, p. 90.

Certes, ces observations sont d'une très-grande importance et méritent d'être étudiées de nouveau, attendu que si l'on parvenait à détruire à volonté le tétanos que l'art aurait fait naître dans la grenouille, on pourrait avoir l'espoir de détruire le tétanos, qui amène toujours la mort chez l'homme qui en est frappé.

M. Matteucci entreprit aussi d'expliquer les effets qui ont lieu, lorsqu'on interrompt le circuit, en les attribuant au retour des fibres musculaires à leur position naturelle, dont elles avaient été écartées par le courant électrique (1).

Les actions du courant électrique sur la grenouille sont donc analysées aussi complétement qu'on peut le désirer pour l'instant; mais il faut avouer aussi que nous ne sommes pas encore aussi avancés sur les causes de leur production.

MM. Prevost et Dumas (2) ont eu l'idée de décomposer les calculs de la vessie au moyen de la pile. Quoique leurs tentatives n'aient pas eu tout le succès qu'on aurait désiré, cependant je ne crois pas le problême impossible, et je développerai plus tard mes idées à cet égard.

M. Matteucci a essayé de reproduire sur les animaux vivants des décompositions chimiques au moyen de la pile, comme plusieurs physiciens l'avaient fait dans le cours de la seconde période. Il a annoncé avoir obtenu à chacun des pôles des liquides semblables à ceux que produisent certains organes sécréteurs.

M. Marianini (3) a indiqué aussi un moyen d'appliquer utilement l'électricité à la guérison de quelques cas de paralysie et de paraplégie. Il conseille de faire passer au travers du membre affecté, pendant plusieurs jours, et même pendant plusieurs semaines, non point un courant continu, mais des décharges successives très-rapi-

(1) Bibl. univ., t. LII, p. 181.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIII, p. 202.
(3) Bibl. univ., t. LII, p. 351.

des de piles, d'abord très-faibles, et dont la force augmente successivement. Il assure être parvenu à obtenir par ce moyen plusieurs guérisons.

M. le docteur Fabré-Palaprat, qui se livre aux applications du galvanisme à l'art de guérir et qui en a obtenu quelquefois des résultats satisfaisants, emploie depuis plusieurs années le procédé indiqué par M. Marianini. Au moyen du balancier d'une horloge, artistement mis en rapport avec deux fils conducteurs en communication avec les deux pôles d'une pile, il donne des commotions plus ou moins rapides dans la partie malade, exposée à l'action du courant. D'après les nombreuses observations qu'il a faites, il a reconnu des effets marqués dans les cas où il y a atonie ou affaiblissement dans le jeu des organes, pourvu néanmoins qu'il n'y ait pas de lésion ou d'inflammation; dans quelques cas d'engorgements lymphatiques, etc., etc. Il a essayé aussi de transporter diverses substances médicamenteuses dans l'intérieur du corps. Quoiqu'il y soit parvenu dans quelques circonstances, nous sommes loin de reconnaître encore qu'il ait réussi à y fixer quelques-unes de ces substances.

Il s'est servi des effets calorifiques produits par la pile, dans des fils métalliques, pour produire des moxas intérieurs. Il introduit dans la partie qu'il veut désorganiser une aiguille de platine en communication avec l'un des pôles d'une pile fortement chargée, tandis que l'autre pôle communique avec le corps. Le courant, quand il est suffisamment intense, fait rougir à blanc le fil de platine qui brûle les parties organiques en contact avec lui. Au bout de peu de jours il se forme une escarre qui a la forme d'un tube et qu'on retire avec facilité.

Il est inutile de faire observer que l'on doit user avec une extrême circonspection de ce procédé.

En Italie, on a envisagé l'application médicale de l'électricité voltaïque, sous un autre point de vue, et je crois que l'on a adopté la véritable marche qui peut conduire à quelques résultats généraux dans l'emploi thérapeutique de l'électricité.

M. Orioli (1), l'un des philosophes les plus distingués dont s'honore l'Italie, a publié des considérations théoriques sur une nouvelle manière de modifier les lois de la vie, en changeant l'état électrique des parties vivantes. Ces considérations reposent sur des idées théoriques, et comme la saine philosophie ne saurait les rejeter, c'est ce motif qui m'a engagé à en donner ici un précis. Après avoir rappelé qu'il est prouvé maintenant que, dans la chimie inorganique, l'influence des états électriques des corps apporte des changements dans leurs propriétés chimiques, il dit que cet effet doit avoir lieu également dans la chimie organique, et que si les substances vivantes n'offrent pas les mêmes jeux d'affinité que les substances mortes, cette différence doit provenir de l'existence dans les premières, d'un état électrique particulier, différent de celui qui existe ordinairement hors de la vie. Aujourd'hui, ajoute-t-il, la plus grande partie des physiologistes regardent comme vrai que la vie peut être considérée comme le résultat d'une action de piles artistement combinées et fonctionnant continuellement, de manière que tout organe est un appareil électrique et que toutes ces piles ont une relation réciproque et commune telle, qu'à l'instant où la vie cesse, les actions électriques n'ont plus la faculté de se reproduire.

En accordant ce principe, de semblables piles, mises en action par une cause inconnue qui tient à la vitalité, doivent nécessairement produire une polarité positive ou négative, dans des parties où elle n'aurait pas lieu en dehors de l'action voltaïque. Il doit en résulter, où sont ces pôles, des sécrétions, des excrétions et des modifications spéciales qui cessent dès l'instant que l'action électrique est détruite.

De même qu'on est parvenu à anéantir l'action de l'eau de la mer sur le cuivre, en rendant ce métal élec-

(1) Mém. de la Soc. médicale de Bologne, 1827.

tro-négatif, de même aussi on peut changer la nature des sécrétions dans les animaux, en renversant la polarité des organes qui les fournissent. L'estomac, par exemple, attire les acides; l'état positif y domine donc. Si cette sécrétion est trop abondante, il faut en exagérer l'état électrique contraire; il en sera de même des reins quand l'urine abondera en acide urique et produira des graviers, il faudra lui donner un état électrique négatif. De même le chancre engendre une sécrétion qui, suivant Crawfort, verdit le sirop de violettes; donc le chancre annonce que la polarité négative prévaut; il faudra lui en donner une contraire.

M. Orioli conseille, avant de chercher à appliquer l'électricité à la thérapeutique, d'étudier la nature des sécrétions produites, afin de faire naître dans l'organe sécréteur un état électrique propre à déterminer des effets contraires. Ces sécrétions seront acides, alcalines ou neutres. Si elles sont acides ou alcalines, il n'y aura aucune difficulté; si elles sont neutres, il faudra appliquer à l'endroit malade le pôle de nom contraire qui convient à cette partie dans l'état normal.

Il propose, à cet effet, d'appliquer convenablement à deux parties du corps privées de la peau, suivant la méthode de Mausford, deux disques, l'un de zinc et l'autre d'argent, communiquant ensemble avec un fil de métal, et les maintenant en place avec des bandages convenables pendant des jours, des semaines, et des mois, et ne les nettoyant qu'au besoin. Je n'entre pas dans le détail des procédés qu'il indique dans différents cas, attendu que je dois me borner à indiquer le principe général. J'ajouterai cependant que, suivant ce philosophe distingué, l'on peut employer ce remède dans l'intérieur de la vessie, en y introduisant une sonde, dont l'extrémité seule soit conductrice, et le reste enduit d'un vernis isolant. Cette sonde communiquerait avec l'un des pôles de l'appareil voltaïque, tandis que l'on mettrait l'autre en communication avec les reins. L'on parviendrait peut-être, ajoute-t-il, à attaquer les

calculs et à les décomposer plus simplement qu'avec les appareils qui ont été imaginés jusqu'ici.

Si l'observation de Mansford est vraie, que la plaie correspondante au pole négatif tend toujours à se cicatriser, il serait possible peut-être d'appliquer utilement ce fait à la guérison de certaines plaies invétérées, en les faisant communiquer à propos avec le pôle négatif. M. Orioli, dans la seconde partie de son Mémoire, a cherché à comparer les idées thérapeutiques qu'il propose, avec les doctrines des diverses écoles médicales. Il déclare que le genre de médicamentation qu'il propose doit être rangé dans la classe des mécanico-chimiques, tels que la glu, le blanc d'œuf, etc., avec lesquels, dit-on, on est parvenu quelquefois à détruire de vieilles obstructions.

M. le Dr Donné, dans un Mémoire présenté à l'Acad. des sciences, le 27 janvier 1834, a employé tout récemment la production des courants électriques qui ont lieu dans la réaction des acides sur les alcalis ou sur diverses dissolutions, pour déterminer l'acidité et l'alcalinéité des membranes dans les corps organiques. Il a été conduit aux résultats suivants en expérimentant avec deux lames de platine mises chacune en communication avec une partie du corps :

1° L'enveloppe extérieure du corps, la peau, sécrète par toute sa surface une humeur acide. Cependant la sueur, au lieu d'être, comme le disent les traités de physiologie, acide sous les aisselles, est au contraire alcaline en ces points.

2° Le tube digestif, depuis la bouche jusqu'à l'anus, sécrète un mucus alcalin, si ce n'est dans l'estomac, où le suc gastrique est fortement acide.

3° Les membranes séreuses et les membranes synoviales sécrètent toutes une liqueur alcaline dans l'état normal. Cette sécrétion devient quelquefois acide dans certaines maladies.

4° La membrane acide externe et la membrane alcaline interne du corps humain représentent les deux pô-

les d'une pile dont les effets électriques sont appréciables au galvanomètre.

Indépendamment de ces deux grandes surfaces, offrant des états chimiques opposés, il existe dans l'économie d'autres organes que l'on peut appeler les uns acides, les autres alcalins, et qui donnent lieu aux mêmes phénomènes. Entre l'estomac, par exemple, et le foie de tous les animaux, on trouve des courants électriques extrêmement énergiques.

5° On constate des phénomènes électriques du même genre dans les végétaux, en plaçant un pôle du galvanomètre dans le centre d'une tige, dans le canal médullaire, et l'autre sous l'écorce; mais c'est surtout dans les fruits que ces effets sont remarquables et bien tranchés. Un fruit peut être considéré comme une pile dont le côté de la queue est électro-négatif dans les fruits adhérents, tels que la pomme et la poire, et le côté de l'œil électro-positif. C'est le contraire dans les fruits non adhérents, tels que la pêche et la prune. Dans tous les cas, ce sont toujours les deux points opposés des fruits qui donnent le maximum de tension électrique. En plongeant les conducteurs du galvanomètre dans d'autres points, les effets diminuent. Ils cessent complétement lorsqu'on les place des deux côtés d'un fruit, à égale distance du centre et perpendiculairement au plan qui passe par l'œil et la queue.

Les courants électriques dans les végétaux ne sont point déterminés par l'état acide ou alcalin des parties, comme dans les animaux, puisque le suc examiné a été trouvé partout plus ou moins acide. Mais, d'après les expériences de M. Biot, les sucs qui arrivent par le pédicule subissent des modifications en un point quelconque du fruit; c'est probablement à la différence de composition chimique de ces sucs aux deux extrémités d'un fruit qu'il faut attribuer les phénomènes électriques.

6° Les humeurs acides de l'économie peuvent devenir alcalines, et les humeurs alcalines devenir acides dans les maladies.

M. Donné examine ensuite les maladies qui déterminent ces changements. Comme il ne leur attribue pas une origine électrique, je ne dois pas en parler ici. Je me bornerai seulement à rapporter la dernière conséquence qu'il tire de son travail, savoir, que les changements dans la nature chimique des sécrétions réagissent sur les différents systèmes de l'économie et déterminent des modifications dans les courants électriques qui existent entre les divers organes de l'économie.

On a tenté de nouveau, à l'aide du multiplicateur, de remonter à la cause des commotions données par la torpille et la gymnote. Davy n'a pu reconnaître de courants électriques à l'instant où elles ont lieu. M. John Davy (1), sur l'invitation de son frère, a fait des expériences à Malte sur des torpilles vivantes. Ayant appliqué les deux bouts du fil métallique aux deux extrémités de l'organe électrique, il a obtenu un courant bien marqué, et avec lequel il est parvenu à aimanter des aiguilles d'acier et à produire des décompositions chimiques; le sens du courant indiquait que la surface inférieure de l'organe électrique était la source de l'électricité négative. D'un autre côté, MM. de Blainville et Fleuriau de Bellevue ont aussi obtenu des effets très-marqués avec le multiplicateur.

Je doute que ces effets puissent être attribués aux organes de la torpille, car il aurait fallu que les observateurs se fussent mis en garde contre les courants qui ont toujours lieu quand on plonge deux lames de platine quelconque dans un liquide, sans s'être assuré préalablement par divers essais que l'état de leur surface est le même. Il est probable que la commotion produite par la torpille, si elle est électrique, doit être analogue à celle de la bouteille de Leyde et, dans ce cas, le multiplicateur ordinaire ne peut servir à reconnaître le courant. Il faut alors se servir de celui qui est préparé suivant la méthode de M. Colladon. Je tiens de ce dernier

(1) Bibl. univ., t. LI, p. 209.

physicien qu'il est parvenu, au moyen de son appareil, à obtenir un courant sur la torpille, à l'instant où elle donne la commotion. M. Nobili a observé aussi un courant avec le multiplicateur ordinaire, quand il a fait communiquer les deux extrémités du fil avec les muscles et les nerfs d'une grenouille; mais je doute qu'il ait tenu compte des effets électro-chimiques dont je viens de parler.

§ XIV. *Des combinaisons et des décompositions opérées à l'aide de courants électriques plus ou moins faibles.*

Dans le cours de cette période, on a donné une attention particulière aux applications des effets électro-chimiques à certains phénomènes naturels, et particulièrement à la production des composés semblables à ceux que l'on trouve dans plusieurs des formations dont se compose l'enveloppe superficielle de notre globe. On croyait jadis que, pour obtenir les plus grands effets de décomposition, il était nécessaire d'employer des courants très-énergiques; mais j'ai démontré qu'il n'en est pas toujours ainsi quand, par l'effet d'une réaction chimique, les éléments qui doivent être transportés par les courants se trouvent déja à l'état naissant. A l'aide de ce principe, on produit une foule de combinaisons que l'on ne peut former avec des piles énergiques.

Je ne puis, dans une simple notice, donner tous les développements qui sont nécessaires pour exposer convenablement cette question, je me bornerai à présenter un précis des recherches auxquelles je me suis livré depuis huit ans.

Je commençai par m'occuper des décompositions chimiques opérées avec des forces électriques très-faibles (1). Bucholz, en 1807, avait déja fait quelques expériences intéressantes à ce sujet (2). Ayant versé dans

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIV, p. 153.
(2) Annal. de Ch., t. LXVI, p. 166.

un verre cylindrique une dissolution métallique, de cuivre, par exemple, et au-dessus de l'eau distillée ou acidulée, en évitant de mélanger ces deux liquides, il plongea ensuite dedans une lame de cuivre. Au bout de quelques heures, la lame commença à se recouvrir de cuivre réduit. Après avoir donné une théorie du phénomène, je montrai que les effets thermo-électriques, le contact des liquides et des métaux, suivi d'actions chimiques, dégageaient assez d'électricité pour produire des décompositions semblables à celles qui avaient été observées pas Bucholz.

Ayant pris un tube courbé en U, dans lequel je versai une dissolution de nitrate ou de sulfate de cuivre, je plongeai dans chacune des branches un fil de cuivre en communication avec les pôles du petit appareil thermo-électrique. Le bout correspondant au côté négatif se recouvrit de cuivre métallique, et l'autre s'oxida; les dissolutions d'étain, de zinc, d'argent et de plomb, avec des fils de ces métaux, donnèrent des résultats semblables. Des fils de platine et d'or, dans les mêmes dissolutions, ne produisirent aucun effet. Il n'en fut pas de même quand on opéra avec des fils d'or et de platine sur le nitrate d'argent. Il résulte de ces faits, qu'avec des forces électriques très-faibles, les métaux facilement réductibles sont précipités de leur dissolution avec des lames de même métal. J'eus occasion d'observer que la décomposition d'une dissolution métallique s'opère plus facilement avec une lame de métal *sui generis* qu'avec tout autre. J'indiquai un appareil électro-chimique propre à produire des décompositions et qui peut fonctionner pendant des mois entiers. Cet appareil consiste en deux bocaux en verre, dont l'un renferme de l'acide nitrique, et l'autre une dissolution de potasse. Dans chacun d'eux on plonge une lame de platine munie d'un fil, et l'on établit la communication entre les deux liquides au moyen d'un tube recourbé en verre rempli d'argile humectée par une solution de sel marin. La réaction des dissolutions acide et alcaline

sur la solution de sel marin suffit pour produire des effets électriques qui peuvent servir à produire des décompositions. En analysant les phénomènes de décomposition opérés par les piles à petite tension, je reconnus que l'oxigène était plus facilement transportable par les courants que l'acide sulfurique.

Je m'occupai de nouveau de l'électricité à petite tension, pour déterminer la combinaison ou la formation de certains corps (1). Dans le travail précédent, j'avais étudié ce qui se passe quand le courant très-faible traverse une dissolution métallique, je voulus voir ce qui arrive quand on y substitue une dissolution de sel neutre. En opérant avec deux fils d'or ou de platine, le courant ne peut traverser la dissolution ; avec des fils d'argent, le courant est très-faible, tandis qu'avec des fils de zinc, de plomb, de fer et d'étain, les effets très-marqués. Cette différence tient à la facile altération des métaux oxidables, altération qui facilite le passage de l'électricité d'un fil de métal dans une dissolution.

Je me suis servi de cette propriété des conducteurs métalliques pour former des doubles combinaisons.

Depuis les recherches de M. Berzelius sur les sulfosels, on dut penser que tous les sels d'un même genre pouvaient se combiner ensemble. Je suis parti de là pour former des doubles chlorures, doubles iodures, etc, Les composés que l'on obtient, par ce procédé, cristallisent, parce qu'ils se forment lentement et que rien ne tend à troubler l'arrangement régulier que cherchent à prendre les molécules. La difficulté consiste à opérer avec une force électrique d'une intensité convenable; car si cette intensité est trop considérable, on isole tous les éléments; si elle est trop faible, on n'enlève qu'un, deux ou trois de ses éléments. C'est ce qui m'a déterminé à étudier avec soin l'influence que peut avoir

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxxv, p. 126.

un courant électrique plus ou moins faible, pour déterminer telle ou telle action chimique. Dès cette époque, je commençai à être convaincu que la nature, dans les phénomènes de décomposition et de recomposition qui s'opèrent journellement sous nos yeux et dans lesquels le temps est un des éléments, emploie souvent des forces électriques très-faibles.

Ayant placé un tampon d'amiante au fond d'un tube recourbé en U, je versai dans une des branches une dissolution de sulfate de cuivre et dans l'autre une dissolution de sel marin; puis j'établis la communication entre les deux liquides au moyen d'une lame de cuivre. Bientôt le bout qui était en contact avec le sulfate se recouvrit de cuivre à l'état métallique, par suite de la formation d'une pile résultant de la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre et de celle de chlorure de sodium sur le cuivre. Sur l'autre bout de la lame, il se déposa des cristaux octaèdres d'une combinaison d'oxichlorure de cuivre et de sodium, qui se décomposent au contact de l'eau. J'obtins également des doubles chlorures analogues avec l'argent et d'autres métaux. En substituant le sel ammoniac au sel marin, il se forma des doubles chlorures d'ammoniaque et d'argent, d'ammoniaque et de plomb.

La combinaison des iodures s'opéra par le même procédé. J'indiquai une autre méthode de décomposition, dont je me suis servi pour produire quelques-uns des oxides qu'on trouve dans la nature. On prend un tube fermé à l'une de ses extrémités et l'on met dans la partie inférieure un oxide quelconque, du deutoxide de cuivre, par exemple, puis l'on verse dessus une dissolution de nitrate de cuivre et l'on y plonge une lame de cuivre qui va jusqu'au fond du tube. Au bout d'une quinzaine de jours, il se dépose sur la lame de cuivre, au-dessus du deutoxide, des cristaux octaèdres rouges transparents de protoxide de cuivre. Avec le sous-acétate de plomb, une lame de plomb et de la litharge, on

obtient le protoxide en cristaux dodécaèdres à faces pentagonales ou en filaments soyeux.

La réaction de l'oxide de cuivre sur le nitrate détermine la formation d'un sous-nitrate, de sorte que la partie de la dissolution qui se trouve en contact avec le deutoxide, ne se trouve plus au même degré de saturation que la partie qui est au-dessus. Il résulte de la réaction des deux dissolutions, qui ne sont pas au même degré de concentration, des effets électriques tels, que le bout de la lame de cuivre qui se trouve en contact avec la portion saturée, devient le pôle négatif d'une petite pile, dont l'action n'a pas assez de force pour opérer la réduction complète du deutoxide qui se trouve dans le nitrate. Dans le même Mémoire, j'ai examiné les composés qui se forment quand on change les dissolutions et les oxides.

Je ne tardai pas à exposer de nouveaux effets électro - chimiques dans un nouveau Mémoire sur l'électro-chimie et l'emploi de l'électricité pour opérer des combinaisons (1). Dans une introduction, j'indiquai les applications que l'on pouvait faire des principes précédents, pour rendre compte de certains phénomènes de décomposition et de recomposition que l'on observe dans la nature. Je montrai ensuite le parti que l'on peut tirer du charbon, dans les recherches électro-chimiques. Son inaltérabilité et sa propriété conductrice de l'électricité le rendent un agent précieux pour transporter les courants électriques. J'en citerai un exemple : en plaçant un couple charbon et argent dans un tube de verre qui contient de l'acide hydrochlorique, la faible réaction chimique de l'acide sur le métal suffit pour déterminer la formation d'une petite pile, dans laquelle la lame d'argent est le pôle positif; l'acide hydrochlorique est décomposé; il se forme du chlorure d'argent qui se

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LXI, p. 5.

dépose peu à peu sur la lame en cristaux octaèdres, comme ceux qu'on trouve dans la nature et qui, avec l temps, acquièrent une ligne de côté. Quant à l'hydrogène, mis à nu, il se porte sur le charbon, qui est le pôle négatif et donne naissance à de l'hydrogène carboné qui se dégage.

En substituant à l'argent d'autres métaux, on obtient d'autres chlorures, etc.

Je repris, dans ce Mémoire, la question des doubles chlorures, des doubles iodures, pour donner la théorie de leur formation, et j'en fis une application aux doubles bromures et à des combinaisons que j'annonçai être des doubles sulfures et que j'ai reconnu depuis être des hyposulfites. J'ai donné aussi une analyse plus complète de la formation, du protoxide de cuivre et je montrai, dans un cas particulier, l'influence que peut avoir la lumière sur les phénomènes électro-chimiques.

Les résultats précédents me servirent de point de départ pour former les sulfures, iodures et bromures métalliques (1). J'avais déja eu l'idée que certains composés avaient pu être formés dans la nature par le passage d'une combinaison à une autre, c'est-à-dire, par des décompositions successives. Les observations que j'ai faites depuis m'ont convaincu de cette vérité; car si tous les corps qui sont insolubles ont pris des formes régulières, lors de leur formation, on a pu supposer que ce groupement était le résultat d'un transport de molécules, s'opérant lentement pendant des décompositions également lentes.

Pour obtenir le sulfure d'argent tel qu'on le trouve dans la nature, j'ai employé encore le tube recourbé en U, au fond duquel se trouvait de l'argile humectée, pour éviter le mélange des dissolutions; dans l'une des branches je versai une dissolution d'hyposulfite de potasse et dans l'autre une dissolution de nitrate d'argent;

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLII, p. 225.

puis j'établis la communication entre les deux branches, dans la partie supérieure, avec un fil d'argent. La réaction des dissolutions l'une sur l'autre, et celle de l'hyposulfite sur l'argent, déterminèrent la formation d'une petite pile, dans laquelle le bout du fil plongé dans le nitrate devint le pôle négatif, et l'autre bout le pôle positif. Le nitrate d'argent fut décomposé : le métal se précipita à l'état métallique; l'oxigène et l'acide nitrique, en se transportant dans l'autre tube, déterminèrent la formation du double hyposulfite, le premier en oxidant l'argent, et le second en déterminant la décomposition de l'hyposulfite. Il en est résulté d'abord un double hyposulfite cristallisé en beaux prismes; l'acide nitrique continuant à arriver, son action se porta sur le double hyposulfite, le décomposa, et il en résulta de jolis cristaux octaèdres de sulfure d'argent d'une netteté parfaite. La cristallisation du sulfure est due, je le répète, à la décomposition lente du double hyposulfite.

Je ferai remarquer que, dans cet appareil, l'action de la pile étant elle-même très-lente, l'argent qui se dépose au pôle négatif a le temps de prendre la forme régulière. Ce procédé m'a servi pour obtenir cristallisés tous les métaux.

En substituant à l'argent et à son nitrate, le cuivre et son nitrate, on forme le double hyposulfite de cuivre et de potasse, qui cristallise en aiguilles soyeuses très-fines. En opérant leur décomposition, on obtient des cristaux de sulfure à faces triangulaires. Le même procédé a suffi pour former l'oxi-sulfure d'antimoine.

Pour former les iodures métalliques, qui sont soumis à la même loi de composition que les sulfures, j'ai suivi la même marche. Les cristaux sont d'une grande netteté. Les transformations qu'on est obligé d'opérer sont très-remarquables et donnent une idée nette des décompositions opérées par l'intermédiaire des forces électriques faibles.

En étudiant tous ces phénomènes, je ne tardai pas à m'apercevoir que je n'avais encore que le premier anneau de la chaîne qui lie tous les effets de décompositions et de recompositions chimiques dus à des forces électriques très-lentes, agissant constamment. Je repris cette question dans un travail sur de nouveaux effets électro-chimiques propres à produire des combinaisons et sur leur application à la cristallisation du soufre et d'autres substances (1). Je fus conduit encore à ce travail en considérant que la chimie se compose de deux parties distinctes, l'analyse et la synthèse; que la première avait déja reçu un grand degré de perfectionnement, mais qu'il n'en était pas de même de la seconde, pour la formation des substances insolubles que l'on trouve dans le règne minéral et dans la nature organique.

On sait, d'après l'analyse que Davy a donnée de l'action chimique de la pile, que, lorsque plusieurs dissolutions sont mêlées ensemble, les acides et l'oxigène se rendent au pôle positif, les bases et l'hydrogène au pôle négatif. Il en est encore de même quand le mélange de plusieurs dissolutions est réparti dans deux capsules de verre ou de porcelaine communiquant ensemble par l'intermédiaire d'une mèche d'amiante. Voilà ce qui se passe toutes les fois que la force de la pile est suffisante pour opérer la décomposition des deux dissolutions. Mais si elle ne peut en décomposer qu'une seule, alors les éléments de celle-ci sont transportés dans l'autre, où ils produisent ordinairement des modifications qui amènent la formation de nouveaux composés. C'est l'ensemble des faits relatifs à ce mode d'action, aux phénomènes électriques qui ont lieu dans les actions chimiques et aux décompositions électro-chimiques, qui constitue l'électro-chimie.

J'ai examiné d'abord le cas où le métal qui se trouve

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIII, p. 51.

au pôle positif dans une dissolution, concourt, par la réaction de son oxide, à la formation des composés. J'ai rapporté plusieurs exemples pour montrer les effets qui sont produits dans cette circonstance, et en particulier celui qui suit : On prend deux bocaux, dans l'un on verse une dissolution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une dissolution alcoolique de sulfo-carbonate de potasse, puis on établit la communication entre les deux liquides, d'une part, avec un tube de verre recourbé rempli d'argile imprégnée d'une dissolution de nitrate de potasse, et de l'autre, avec un arc composé de deux lames cuivre et plomb, le cuivre plongeant dans le sulfate et le plomb dans le sulfo-carbonate. La réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre et celle du sulfo-carbonate sur le plomb donnent naissance à une pile qui produit les résultats suivants : précipitation du cuivre dans le bocal où se trouve le sulfate; dans l'autre, formation de carbonate neutre de potasse, qui cristallise sur les parois du vase; d'un double sulfo-carbonate de plomb et de potasse en cristaux aciculaires, de carbonate de plomb et probablement de sulfate de potasse et de sulfate de plomb; enfin dépôt de soufre en octaèdres à bases rhomboïdes qui ont jusqu'à un millimètre et même plus de longueur. Dans cette expérience, la propriété dont jouit l'acide sulfurique de chasser les acides qui ont moins d'affinité que lui pour les bases, n'a lieu qu'en raison du peu d'énergie d'action de la pile, car si cette énergie eût été plus considérable, tous les acides indistinctement auraient été transportés au pôle positif.

J'ai donné la description d'un appareil qui permet d'éviter ou d'employer à volonté la réaction des oxides métalliques, appareil dont je ne puis donner ici la description; l'usage qu'on peut en faire est utile dans bien des circonstances.

M. John Davy (1) crut devoir réclamer la priorité sur la

(1) The Edimburgh's New philosophical Journal, 1830.

découverte de la formation de cristaux de protoxide de cuivre, dans une note relative à des observations concernant l'action que les acides minéraux exercent sur le cuivre dans diverses circonstances (1). Cette réclamation avait été adressée à l'éditeur du journal scientifique du *New philosophical Journal*, de Corfou, sous la date du 17 avril 1827. J'adressai (2) de suite une lettre à l'un de MM. les rédacteurs des Annales de Chimie et de Physique, dont voici le contenu :

« Je prends la liberté de faire remarquer à M. John « Davy, que mes recherches électro-chimiques ne sont « pas aussi récentes qu'il le croit, attendu que les pre- « mières expériences sur les décompositions opérées « avec de très-petites forces électriques, datent du 21 « août 1826 (3), et que le Mémoire où je développe les « procédés pour produire un grand nombre de com- « posés, entre autres le protoxide de cuivre, qui fait « l'objet de la note du savant chimiste anglais rédigée à « Corfou le 17 avril 1827 et publiée dans le *Philoso-* « *phical Journal* le 24 décembre 1829, a été présenté « à l'Académie des sciences le 16 avril 1827 (4). Sous « tous les rapports j'ai donc la priorité dans la publi- « cation, soit qu'on veuille dater du jour de la présen- « tation des Mémoires ou de leur insertion dans les re- « cueils scientifiques. »

En recherchant (5) les moyens de soumettre les substances organiques à l'action des courants électriques, dans l'espoir d'arriver à connaître la cause de quelques-uns des phénomènes de la nature organique, tels que la fermentation, je fus amené à former le carbonate de chaux hydraté au moyen d'une dissolution de chaux dans l'eau sucrée. Cruickshanks et Daniell (6) avaient

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIII, p. 327.
(2) *Idem*, t. XLIII, p. 333.
(3) *Idem*, t. XXXIV, p. 153.
(4) *Idem*, t. XXXV, p. 115.
(5) Annal. de Phys. et de Ch., t. XLVII, p. 5.
(6) Annal. de Ch. et de Phys., t. X, p. 219.

observé que, lorsque l'on expose à l'air une dissolution de sucre et de chaux, dans un vase à large ouverture, la surface se recouvre de petits cristaux qui se précipitent au fond du vase et sont bientôt remplacés par d'autres. Les uns attribuèrent la formation de l'acide carbonique à la décomposition du sucre; d'autres avancèrent que l'acide carbonique était fourni par l'air. Je pris un tube recourbé en U, disposé comme je l'ai dit précédemment, et je versai dedans une solution de chaux dans l'eau sucrée. Je plongeai dans chacune des branches une lame de platine en communication avec une pile; les ouvertures du tube furent fermées avec soin. Il s'opéra des réactions telles entre les éléments de tous les corps dissous sous l'influence des forces électriques, que l'on trouva sur la lame positive un précipité de carbonate de chaux présentant çà et là quelques petits cristaux. La formation de ce carbonate ne pouvait être attribuée qu'aux principes constituants du sucre.

M. Pelouze a repris depuis cette question par les méthodes ordinaires de la chimie, et a prouvé que, dans l'action spontanée, le carbonate de chaux hydraté est uniquement produit par la réaction de l'acide carbonique de l'air sur la chaux et que le sucre n'agit, dans cette circonstance, que pour augmenter la quantité de chaux dissoute.

L'examen de cette question m'entraîna à étudier l'action simultanée des matières sucrées ou mucilagineuses (1) sur les oxides métalliques, par l'intermédiaire des alcalis et des terres. Les forces électriques n'étaient plus alors mises en jeu. Je fais mention de ce travail, pour montrer que l'on passe facilement des phénomènes électro-chimiques aux phénomènes chimiques ordinaires, qui ne sont probablement eux-mêmes que des actions de même genre. J'en déduisis un procédé pour appliquer le mercure sur le verre sans l'intermédiaire de l'étain,

(1) Annal. de Phys. et de Ch., t. XLVII, p. 13.

ainsi que les amalgames d'or et d'argent. Je trouvai que les alcalis font passer certains oxides, suivant la nature de la matière sucrée, à l'état de protoxide ou bien à l'état métallique. La chaux, à l'aide de la chaleur, détermine un précipité jaune orange formé de protoxide de cuivre et de chaux. La baryte et la strontiane donnent lieu également à la formation d'un proto-cuprate de baryte et de strontiane, etc.; l'action spontanée produit les mêmes effets.

L'expérience ayant prouvé que l'affinité d'un corps pour un autre facilitait singulièrement les décompositions électro-chimiques, j'ai employé ce principe pour réduire l'oxide de fer, la magnésie, la zircone et la glucine (1).

Avant d'indiquer les appareils, j'étudiai de nouveau l'action de la pile sur les dissolutions salines. Lorsque l'on réfléchit aux réactions chimiques qui ont lieu dans les êtres organisés, n'est-on pas conduit à admettre que la vitalité développe des forces particulières électriques ou non qui, faibles en apparence, produisent néanmoins des effets que l'on ne peut obtenir qu'avec des affinités d'une certaine énergie? On a supposé peut-être avec fondement que ces forces étaient électriques. Un des moyens de donner quelque probabilité à cette opinion, est de prouver que l'on peut produire, sur des composés inorganiques, des effets chimiques énergiques avec des forces électriques faibles. La théorie de Grotthus, dont nous avons parlé, admet, comme base fondamentale que, dans les décompositions électro-chimiques, les éléments des corps ne se rendent à leurs pôles respectifs qu'autant qu'ils rencontrent sur leur passage, dans le liquide intermédiaire, d'autres éléments avec lesquels ils forment momentanément des combinaisons solubles. Cette condition est indispensable. J'ai donné plusieurs applications de ce principe. Je citerai seulement celle

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVIII, p. 337.

qui suit: Ayant pris deux tubes remplis dans leur partie inférieure d'argile très-pure, et plongeant à moitié dans un vase rempli d'eau, on verse dans le premier, qui est en communication, au moyen d'une lame de platine, avec le pôle positif d'une pile, une dissolution de nitrate de cuivre, et dans le second, qui est également en relation avec le pôle négatif, une dissolution peu concentrée de sel marin ou autre. Aussitôt que la pile, qui est composée de 30 éléments, commence à fonctionner, l'eau seule est décomposée et non le nitrate de cuivre. On conçoit cet effet : comment en effet l'oxide de cuivre serait-il transporté du positif au négatif, en traversant une certaine quantité d'eau, puisque ce liquide ne peut lui fournir les éléments nécessaires pour former un composé soluble? Le transport ne pourrait avoir lieu qu'autant que le courant aurait assez d'énergie pour vaincre la résistance qu'oppose au transport l'insolubilité de l'hydrate de cuivre.

En opérant d'une manière inverse, c'est-à-dire, en mettant le nitrate dans le tube négatif, la décomposition a lieu, mais alors on rentre dans les cas ordinaires. Je ne m'y arrêterai donc pas.

J'ai cherché encore quelques - unes des causes qui s'opposent aux décompositions des sels. L'exemple suivant suffira pour en donner une idée. Si l'on verse dans le tube négatif une dissolution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une dissolution de nitrate de potasse, l'acide nitrique est mis à nu dans ce dernier. La potasse en se rendant dans le tube négatif réagit sur le sulfate de cuivre, en chasse une portion de l'oxide de cuivre qui est réduite et donne naissance à un double sulfate de cuivre et de potasse qui cristallise. Tant qu'il reste du sulfate de cuivre simple à décomposer et qu'il y a une quantité suffisante de nitrate de potasse dans le tube positif, l'acide sulfurique n'est pas transporté dans ce tube, mais aussitôt que le double sulfate commence à être décomposé, sa présence y est rendue sensible par le nitrate de baryte. Règle générale:

De deux sels en dissolution, le sel soluble est toujours décomposé de préférence à l'autre. J'ai indiqué comment on pouvait, à l'aide de ce principe, résoudre cette question : un mélange de plusieurs dissolutions salines étant donné, en opérer successivement la décomposition avec la pile, de manière que tel ou tel acide soit seul transporté d'abord dans le tube positif.

J'ai étudié ensuite la décomposition des sels avec réduction immédiate de leurs bases. Dans l'origine, on croyait qu'il fallait des piles d'un grand nombre d'éléments pour décomposer les dissolutions de manganèse, de zinc, de fer, d'étain, d'arsenic, et obtenir une certaine quantité de métal réduit au pôle négatif. Les dissolutions de titane, de nickel, de cobalt, d'urane et de chrome n'offraient pas des traces bien sensibles de réduction. D'un autre côté, on avait reconnu aussi que la présence de l'eau était souvent un obstacle à la décomposition des sels, particulièrement quand l'oxigène de l'eau a moins d'affinité pour l'hydrogène que n'en a le même gaz pour le métal. Dans ce cas, il pouvait se faire que l'eau seule fût décomposée. Aussi fut-on obligé d'opérer avec des dissolutions très-concentrées, et quelquefois sur les oxides eux-mêmes légèrement humectés. Ces précautions ne suffisent pas encore toujours lorsque l'on veut réduire les oxides les plus réfractaires ; on peut alors avoir recours au moyen que j'ai indiqué, et qui repose sur le principe suivant. On conçoit que le gaz hydrogène, en arrivant au pôle négatif, doit y exercer une puissance réductive d'autant plus énergique, qu'il reste plus long-temps à l'état de gaz naissant, état qui, comme on sait, est le plus favorable possible aux actions chimiques. Pour remplir cette condition, j'ai pensé que plus le courant était rapide, plus le dégagement de gaz était rapide aussi, et moins il était probable qu'il restait de temps à l'état naissant ; mais aussi moins le courant était rapide, moins la pile agissait avec force. J'ai pensé que du balancement de ces deux forces il devait résulter peut-être un maximum

d'effet. Guidé par ces vues théoriques, j'ai retiré immédiatement de leurs dissolutions, avec des forces très-faibles, le fer, le zirconium, le glucium, le magnésium en cristaux ou en lamelles cristallisées. Pour réduire le fer, j'ai pris l'appareil des deux tubes dont j'ai parlé précédemment.

Dans le tube négatif, j'ai mis une dissolution de protochlorure de fer, et dans l'autre, une dissolution de chlorure de sodium. Dans celui-ci, on plonge simplement une lame de zinc, et dans l'autre une lame de platine, mises en communication l'une avec l'autre. Au bout de quelque temps, il se dépose du fer sur la lame négative, en très-petits cristaux, dont le groupement donne un aspect chatoyant à la lame. Quelquefois ces cristaux sont si rapprochés, qu'on dirait que le métal a été coulé sur la lame. Ces lames possèdent la polarité magnétique, qui provient d'abord de l'action du courant, puis de la solution de continuité qui existe entre toutes les parties de la couche déposée, laquelle solution remplace le carbone dans l'acier. La réduction de la zircone s'opère avec assez de facilité en opérant avec une dissolution très-concentrée d'hydrochlorate de zircone, qui renferme une petite quantité de fer. La lame négative prend peu à peu une teinte grisâtre, et vingt-quatre heures après, on commence à apercevoir des lamelles d'acier d'un gris très-brillant. Ces lamelles n'éprouvent dans la dissolution aucun changement, tant qu'elles sont sous l'influence de l'action du couple voltaïque; mais aussitôt qu'on les en retire, elles se décomposent peu à peu à l'air et dans l'eau, en laissant dégager de l'hydrogène. Les premières lamelles déposées sont composées d'un alliage de fer et de zirconium, tandis que les dernières ne paraissent être formées que de zirconium presque pur, puisque le produit de leur décomposition a une couleur blanche. Il paraît néanmoins qu'une très-petite quantité de fer est nécessaire pour opérer la réduction, puisque l'on n'obtient aucun résultat quand on opère avec de l'hydrochlorate pur de zircone. Pour

conserver les cristaux de zirconium, il faut les dessécher rapidement dans le vide où se trouve du chlorure de calcium, et les renfermer dans un tube de verre bien sec, au fond duquel se trouve du potassium et dont le bout est fermé à la lampe. La glucine et l'oxide de titane ont été réduits par le même procédé.

Quant à la réduction de la magnésie, elle est beaucoup plus difficile à opérer. J'ai été obligé d'employer, outre les principes précédents, l'action d'une pile de 30 éléments. J'ai soumis à l'expérience du chlorure de magnésium qui, ayant été préparé dans une bassine d'argent, renfermait une petite quantité de ce métal, laquelle a favorisé l'opération. Il s'est d'abord formé sur la lame négative un dépôt gris, puis ensuite des tubercules de même couleur, et enfin des cristaux octaédriques d'un blanc argentin, possédant toutes les propriétés du magnésium. Quoiqu'on éprouve de grandes difficultés à opérer la réduction de la magnésie, comme je le dirai plus tard, je ne dois pas oublier cependant de rapporter que la présence de l'argent est une des causes déterminantes de la réduction ; l'opération une fois commencée, continue, même quand l'argent a été précipité. Ces cristaux se conservent avec assez de facilité.

En m'appuyant sur l'action des forces électriques, j'ai essayé de montrer comment la cémentation pouvait s'opérer, non-seulement dans l'acier, mais encore dans un grand nombre de roches, où des éléments sont transportés du dedans au dehors, et remplacés par d'autres, sans que les roches cessent pour cela d'être solides. Les affinités, telles qu'on les considère, ne peuvent produire des effets semblables de transport; il faut de toute nécessité que la nature emploie des forces qui transportent les éléments, dans deux sens différents, à de grandes distances. Quand on cherche l'explication d'une classe de faits, la saine philosophie indique, avant d'avoir recours à des forces nouvelles, d'essayer si celles qui sont connues ne pourraient pas en rendre compte. Or les courants électriques remplissent parfaite-

ment toutes les conditions voulues pour opérer des transports semblables à ceux qui constituent la cémentation.

J'ai d'abord cherché comment la cémentation pouvait avoir une origine électrique. En général, toutes les fois que l'on veut attribuer un phénomène à l'électricité, il faut étudier, par tous les moyens possibles, les effets électriques qui ont lieu pendant la production de ce phénomène; c'est le seul moyen de reconnaître l'influence de cet agent. J'ai pris pour exemple le procédé généralement employé pour convertir le fer en acier. A l'instant du contact du fer avec le charbon à la température rouge, l'un et l'autre étant en communication avec un multiplicateur, il se produit un courant électrique énergique qui va du fer au charbon, et dont la direction est la même que celle du courant qui est produit dans la combinaison du fer avec l'oxigène, ou d'une base avec un acide; ce résultat était prévu. Je suis parti de là pour expliquer comment je conçois que le carbone peut être transporté à l'aide de courants électriques, à la température rouge, dans des masses de fer, lorsque les particules de celle-ci jouissent d'une certaine mobilité. La théorie a beaucoup d'analogie avec celle que Grotthus nous a donnée du transport des éléments des sels dans les dissolutions qui sont soumises à l'action décomposante de la pile.

J'ai fait l'application du même principe à la cémentation de batitures de fer, sur laquelle M. Berthier a donné des développements intéressants; les effets électriques qui ont lieu, pendant cette cémentation, m'ont encore servi de point de départ pour y appliquer la théorie électro-chimique.

J'ai déja indiqué précédemment le procédé à l'aide duquel, avec les forces électriques, on peut obtenir cristallisés plusieurs oxides métalliques. Guidé par des vues théoriques, je suis revenu sur cette question, non plus avec les mêmes moyens (1), mais avec les affinités ordi-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LI, p. 101.

naires. J'ai pris pour le dissolvant des oxides, le peroxide de potassium qui, en raison de son haut degré d'oxigénation, ne doit pas posséder la faculté de former avec ces oxides des combinaisons aussi stables que la potasse, qui est une base plus énergique.

On sait que, lorsque l'on chauffe de la potasse dans un creuset d'argent découvert, elle entre en fusion, perd une partie de son eau et prend à l'air de l'oxigène pour se transformer en peroxide de potassium qui se décompose au contact de l'eau en produisant un dégagement d'oxigène. Si donc on met dans un semblable creuset un demi-gramme de deutoxide de cuivre avec deux ou trois grammes de potasse à l'alcool et que l'on porte la température, pendant quelques minutes, jusqu'au rouge naissant, le deutoxide s'y dissout complétement. La dissolution étant refroidie, il y a dégagement d'oxigène, puis précipitation de flocons de deutoxide de cuivre et de petits cristaux de deutoxide non hydraté de cuivre, dont plusieurs ont quelquefois un ou deux millimètres de longueur.

Quand le creuset est maintenu pendant un certain temps à la température rouge, tout le deutoxide se change en protoxide. On obtient alors de très-petits cristaux de protoxide d'un rouge de brique.

Le protoxide de plomb substitué au deutoxide de cuivre a donné des lames carrées et même de petits cubes de protoxide, lorsque le creuset est resté peu de temps exposé à l'action de la chaleur; car si cette action est prolongée, le protoxide passe à l'état de peroxide, qui cristallise en lames hexagonales d'une couleur puce avec des reflets jaunâtres. Le phosphate et le sulfate de plomb, traités de la même manière, sont complétement décomposés et donnent également naissance à des cristaux de protoxide ou de deutoxide de plomb.

L'oxide de cobalt a été obtenu par la même méthode en lames carrées. L'oxide de zinc se présente sous la forme d'aiguilles cristallisées d'une couleur jaune sale.

Jusqu'ici je n'ai pu obtenir par ce procédé les oxides de fer et de manganèse.

J'ai montré plus haut qu'en opérant la décomposition lente des doubles hyposulfites alcalins et métalliques, on parvenait à obtenir des sulfures métalliques cristallisés, et particulièrement les sulfures d'argent et de cuivre.

On remarque souvent dans les opérations chimiques, que les parois des vases exercent une influence sur les réactions. J'ai cherché quelle était la nature de cette influence dans certaines réactions électro-chimiques (1). Sans entrer dans aucun préambule au sujet des causes qui m'ont engagé à examiner ce mode d'action, je dirai que si l'on prend un tube de verre d'un petit diamètre, et que l'on y introduise par un de ses bouts de l'oxide de cobalt calciné et réduit en pâte très-fine avec de l'eau, que l'on ferme ensuite l'ouverture, puis qu'après avoir placé dans ce tube un fil d'argent, on remplisse la partie supérieure avec une dissolution d'hydrochlorate de chrome, au bout d'une quinzaine de jours, on commence à apercevoir, dans la partie inférieure et sur la surface même du tube, des petites dendrites métalliques. On obtient le même effet sans employer de fil d'argent. L'oxide de cobalt, qui est difficile à réduire par la pile, cède ici à des actions qui paraissent faibles en apparence, mais cependant qui doivent être douées d'une grande énergie. On voit d'abord que la paroi a exercé une grande influence, puisque la réduction s'est opérée dessus. Il paraît que dans la réaction lente de l'hydrochlorate de chrome sur l'oxide de cobalt, il y a eu dégagement d'électricité; les deux fluides se seront combinés le long des parois du tube, qui auront servi à l'établissement des pôles de la petite pile. Je me borne pour l'instant à cette indication, mais cet exemple suffit déja pour montrer l'influence que peuvent exercer les

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LII, p. 243.

parois sur la réduction de certains oxides métalliques qui exige ordinairement l'emploi de moyens puissants.

J'ai cherché depuis si l'on ne pourrait pas obtenir, par d'autres procédés, les sulfures. Je me suis attaché particulièrement aux sulfures de plomb et d'antimoine, que l'on trouve dans la nature en très-beaux cristaux (1). Je n'entre pas, pour l'instant, dans l'exposé des considérations qui m'ont déterminé à entreprendre ces recherches. Je décrirai seulement en peu de mots l'appareil à l'aide duquel on forme la galène ou sulfure de plomb en quelques mois. Dans un tube de verre fermé par un bout on met du sulfure de mercure, l'on verse dessus une dissolution de chlorure de magnésium, puis l'on plonge dans le liquide, jusqu'au fond du tube, une lame de métal. L'appareil étant fermé hermétiquement, on l'abandonne ensuite aux réactions chimiques lentes. Un mois, six semaines après, on commence à apercevoir sur la paroi du tube, au-dessus du sulfure de mercure, une couche très-mince d'un précipité brillant gris métallique qui s'en détache, et dont l'intérieur est recouvert de petits tétraèdres réguliers de sulfure de plomb pur. En ouvrant le tube, il se dégage des gaz qui répandent l'odeur propre aux combinaisons du soufre avec le chlore et l'hydrogène. Je me borne à indiquer le fait sans donner la théorie, attendu que je serais obligé d'entrer dans des détails que ne comporte pas une simple notice. L'antimoine, soumis au même mode d'expérimentation que le plomb, a donné des lamelles et des cristaux dont la nature n'a pas encore été constatée, parce que l'opération n'est pas terminée, mais il est probable qu'ils appartiennent aux sulfures d'antimoine.

Je ne donne pas ici le précis des observations que j'ai faites sur l'application de l'électro-chimie à plusieurs phénomènes de décomposition qui s'opèrent journelle-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LIII, p. 106.

ment dans la terre. J'y reviendrai quand j'aurai exposé l'état actuel du globe.

Depuis long-temps je cherchais les moyens d'appliquer l'électro-chimie à la physiologie végétale. Des difficultés sans nombre m'avaient arrêté. Guidé par des vues nouvelles, je conçus l'espoir d'obtenir quelques résultats propres à montrer l'influence que peut exercer l'électricité comme force chimique. Le but que je me suis donc proposé, dans un premier Mémoire sur l'application des courants électriques à la nature organique (1), n'a donc pas été de rechercher si les forces électriques sont capables de produire des tissus, des membranes, ou d'autres organes, mais bien de découvrir les modifications qu'elles font éprouver aux graines et aux plantes, quand les actions chimiques qu'elles produisent favorisent ou contrarient celles des forces végétales. Nous avons déja vu que Bertholon, dans un ouvrage assez volumineux dans lequel il rapporte un grand nombre d'expériences sur la végétation, avance que les graines électrisées lèvent plus promptement et en plus grand nombre que celles qui ne le sont pas, et que l'accroissement des plantes électrisées se fait aussi plus rapidement. Jalabert a été conduit au même résultat. Il paraîtrait donc que le fluide électrique agirait comme excitant sur les végétaux. Mais d'autres savants, parmi lesquels je citerai Trostwick, Senebier, et M. de Candolle (2), n'ont aperçu aucune accélération sensible dans la végétation des plantes électrisées. Davy, dans sa Chimie agricole, ne parle également de cette question que d'une manière assez vague; il dit que le blé pousse plus rapidement dans de l'eau électrisée positivement que dans de l'eau électrisée négativement. Je suis bien loin de croire que le fluide électrique soit sans action sur la vie des êtres organisés, mais l'on n'a pas suivi jusqu'ici, je

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LII, p. 241.
(2) Physiologie végétale, t. III, p. 1093.

crois, la marche convenable pour découvrir quelle était la nature de cette action. Ce singulier agent qui semble se montrer partout comme un principe universel, réagit de deux manières sur les corps qu'il traverse, en y produisant des commotions ou des réactions chimiques. Quand il ne peut produire leur décomposition, il détermine dans toutes leurs parties des décompositions et recompositions de fluide neutre, qui sont toujours accompagnées de commotions plus ou moins fortes, suivant le degré de tension de l'électricité. Si cette tension est considérable, et que les parties constituantes, telles que les tissus et les vaisseaux, offrent peu de résistance, alors il y a désorganisation; mais si au contraire elle est faible, il en résulte un état d'excitation, qui fait sortir certains organes de l'état d'atonie où ils peuvent se trouver. Dans ce cas, le fluide électrique agit comme force mécanique qui communique un ébranlement, et ne peut être assimilé en rien aux forces vitales qui développent des organes et produisent une foule de réactions chimiques. Ce mode d'action ne peut donc être que très-borné. Quant aux réactions chimiques, les effets varient en raison de l'intensité des courants; avec des courants énergiques, les corps sont décomposés, tandis qu'avec de faibles courants, on produit une foule de réactions chimiques qu'il est impossible de prévoir *a priori*. Telles sont les conjectures que l'état actuel de la science permet de faire sur l'emploi, dans la nature organique, de l'électricité à petites tensions émanant d'une source non interrompue.

Je commençai d'abord par m'occuper de l'influence des parois des tubes et des vaisseaux à petits diamètres ou des surfaces de nature quelconque sur les effets électro-chimiques. On ignore la nature des forces vitales et quelles modifications elles font éprouver aux composés organiques quand ceux-ci traversent les tissus et les organes des corps vivants; mais comme toute réaction chimique est toujours accompagnée d'effets électriques tels, que les principes qui se combinent ou

se séparent, se trouvent dans deux états électriques différents, il est naturel de supposer que les organes des corps vivants possèdent le pouvoir de déterminer, d'une manière particulière, l'état électrique des éléments inorganiques qui concourent à la formation des nouveaux composés. Dans l'impossibilité de trouver directement ce mode d'action des tissus organiques qui dépend de l'action des forces vitales, j'ai cherché s'il ne serait pas possible de découvrir dans les vaisseaux ou tubes d'un petit diamètre, dont les parois sont de nature quelconque, certaines propriétés analogues à celles que l'on attribue au tissu quand il se trouve sous l'empire des forces vitales. C'est là le motif qui m'a conduit à des recherches qui ont amené la réduction de l'oxide de nickel, en faisant intervenir l'influence des parois des tubes capillaires. On verra, quand je traiterai la question des sécrétions, comment il peut se faire que des influences semblables à celles dont je viens de parler peuvent exercer une certaine influence sur leur formation. J'ai désigné sous le nom d'électro-capillo-chimie les effets qui sont produits dans cette même circonstance.

Comme les décompositions spontanées des substances, organiques ou non, exercent une grande influence sur l'acte de la végétation, j'ai étudié l'effet de quelques-unes de ces décompositions.

Un exemple suffira pour donner une idée des phénomènes dont je viens de parler; il sera facile ensuite d'étendre les applications. Lorsque l'on répand une dissolution de sulfate de potasse sur une lame de fer, celle-ci en s'oxidant aux dépens de l'eau et de l'air, prend l'électricité contraire. L'action étant continue, la lame devient le pôle négatif d'une petite pile, et la dissolution le pôle contraire. Il résulte de là de l'ammoniaque et de la potasse mises à nu et une formation de sulfate de fer. L'ammoniaque se dégage, la potasse se combine avec l'acide carbonique de l'air, et le sulfate, qui probablement est un sous-sel de protoxide, se combine avec le sulfate de

potasse. Cette combinaison se détruit peu à peu, à mesure que le métal s'oxide et lorsqu'on soumet la masse à des lavages successifs. La décomposition marche plus rapidement quand on opère avec la limaille de fer. On voit par-là avec quelle facilité les actions électriques concourent avec les affinités chimiques à opérer des décompositions.

Je ne me suis pas borné à constater l'action d'un seul couple voltaïque sur les sels, mais j'ai appliqué le même mode d'action aux composés d'origine organique, conducteurs ou non de l'électricité. J'ai montré qu'elle était suffisante pour retirer des graines, des gommes et des mucilages, les alcalis qui s'y trouvent à l'état de combinaison.

Tout nous prouve que les organes des graines et des plantes, quels qu'ils soient, peuvent être considérés comme remplissant les mêmes fonctions que le pôle négatif d'une pile, puisqu'en général, dans leurs actions sur les sels qui sont charriés par la sève ascendante, ils chassent les acides et attirent à eux les bases.

J'ai cherché si, pendant la germination et lorsque la sève monte avec force dans les plantes, il n'y aurait pas transsudation d'un acide. J'ai reconnu constamment pendant cette action la présence de l'acide acétique. Un grand nombre de graines, prises parmi les graminées, les légumineuses, les crucifères, les conifères, etc., ont été soumises à l'expérience; celles des crucifères et des conifères manifestent la réaction d'une manière très-marquée. Les bulbes d'iris et de tubéreuses la possèdent aussi d'une manière bien caractérisée.

D'après les principes précédents, on devait prévoir qu'en faisant germer des graines au pôle négatif d'un très-faible appareil électrique, dans une dissolution renfermant de petites quantités de sels, la végétation devait se développer avec plus de force qu'au pôle positif. Cet exemple est surtout frappant pendant la végétation du cresson alénois, du pisum sativum, etc. Des ognons de jacinthe ont été également soumis à de semblables in-

fluences en même temps que des ognons végétaient librement. Il en est résulté que la végétation s'est développée avec force au pôle négatif, un peu moins dans les ognons non armés et beaucoup moins dans ceux qui se trouvaient au pôle positif.

On peut juger déja, d'après l'exposé rapide que je viens de présenter de l'action de l'électricité à petite tension, dans un grand nombre de phénomènes pour produire des décompositions et des recompositions, du rôle important qu'elle peut jouer dans la nature.

§ XV. *De l'emploi des courants pour constater la présence de certains corps dans les dissolutions; et de quelques effets de décompositions électro-chimiques.*

Dès l'instant que j'eus analysé tous les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, je cherchai à les utiliser pour constater dans les dissolutions la présence de tel acide ou de telle base. Les premiers résultats que j'obtins me portèrent à croire que l'on pouvait leur donner de l'extension.

Nous allons en donner ici quelques exemples. Pour constater la présence de l'acide hydro-chlorique ou de l'acide nitrique, ou celle d'un chlorure ou d'un nitrate dans une dissolution, il suffit de plonger dans cette dissolution une lame de platine et une lame d'or en communication avec un multiplicateur très-sensible et dont les surfaces sont très-propres, il n'y aura aucun effet produit sur l'aiguille aimantée. Supposons maintenant que la dissolution renferme de l'acide hydro-chlorique ou un chlorure, si l'on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique, il y aura formation d'eau régale, puis réaction sur l'or et production d'effets électriques qui seront rendus sensibles par la déviation de l'aiguille aimantée. Cette déviation a lieu, quelque faible que soit l'action chimique. Si la dissolution renferme, au contraire, de l'acide hydro-chlorique, on versera dedans quelques gouttes

d'acide nitrique. J'ai fait connaître encore un autre procédé (1).

J'ai indiqué ensuite une méthode pour retirer immédiatement le manganèse et le plomb des dissolutions dans lesquelles ils se trouvent (2). J'ai profité pour cela de la propriété dont jouissent les oxides de plomb et de manganèse de passer à l'état de peroxide, quand les combinaisons dans lesquelles ils se trouvent sont en communication avec la lame positive d'une petite pile. Alors il se dépose sur cette lame du peroxide. Veut-on séparer, par exemple, le manganèse du fer, on forme une dissolution de ces métaux dans l'acide acétique, et l'on plonge dedans deux lames de platine en communication avec les pôles d'une pile. Il se dépose, comme je viens de le dire, une couche de peroxide sur la lame positive. En l'enlevant, il s'en forme une nouvelle, et ainsi de suite. On ne cesse l'opération que lorsque la lame ne se colore plus; alors on est persuadé que la dissolution ne renferme plus de manganèse. On retire le plomb par un procédé semblable.

Je ne m'étends pas davantage sur l'emploi que l'on peut faire des phénomènes électriques pour reconnaître la présence de certains corps dans les dissolutions; j'y reviendrai plus tard.

MM. Pelletier et Couerbe ont présenté, le 13 janvier 1834, un Mémoire contenant une nouvelle analyse de la coque du Levant. Ils ont annoncé avoir employé avec succès la pile pour obtenir cristallisé un de ses principes immédiats, la picrotoxine. Ayant reconnu, après divers essais, que ce principe, en se combinant avec les alcalis, jouait le rôle d'acide, ils ont soumis à l'action de la pile une solution de picrotoxine dans l'eau légèrement alcalisée par de la potasse. Après une demi-heure d'action, la picrotoxine s'est déposée

(1) Annal de Ch. et de Phys., t. XLIII, p. 144.
(2) *Idem*, p. 380.

au pôle positif, sous la forme d'une belle cristallisation en aiguilles. La partie négative de leur appareil ne contenait plus que de la potasse n'ayant plus aucun goût d'amertume. D'autres solutions alcalines de la picrotoxine ont donné des résultats semblables.

Ils ont aussi résolu une autre question avec l'agent électrique. Si la picrotoxine agit comme acide par rapport aux bases très-fortes, devait-on en conclure qu'elle se comportait de même par rapport aux différentes matières organiques alcaloïdes? En conséquence, ils ont soumis à l'action de la pile le picrotoxate de brucine. Cette combinaison a été rapidement décomposée. La picrotoxine a formé une belle cristallisation radiée au pôle positif, et la brucine a également cristallisé, mais en cristaux grenus, au pôle négatif. Dès lors ils en ont conclu que la première jouait aussi le rôle d'acide, par rapport aux alcaloïdes. Ils ont remarqué que la couleur rouge que prend la brucine au contact de l'acide nitrique concentré, est aussi développée par l'action de la pile autour du pôle positif. Cette réaction peut servir à distinguer la brucine de la morphine, qui rougit également par l'acide nitrique, mais non point par la pile.

La combinaison de la picrotoxine avec les alcalis végétaux, tels que la strychnine, la quinine, la synchonine et la morphine, se comportent de même à l'action de la pile.

La combinaison de picrotoxine avec la narcotine, qui est le plus faible des alcaloïdes, a donné le même résultat. Cette expérience est celle qui les a portés à conclure que la picrotoxine devait être considérée comme un acide.

Ce résultat a été pour eux d'une grande importance. Ils en ont fait immédiatement une application à la chimie organique.

On croit généralement que les alcalis organiques existent tout formés dans les végétaux, mais unis à des acides et que, pour les isoler, il faut s'emparer de ceux-ci par une base plus forte. Quelques personnes

ont émis l'opinion que les alcalis végétaux n'existaient pas tout formés. Pour décider l'alternative, ils ont soumis à l'action de la pile une solution d'opium. A l'instant même, des flocons nombreux se déposèrent en petites masses grenues au pôle négatif, tandis que des flocons plus rares et plus légers se sont déposés en même temps au pôle positif. La matière déposée au pôle négatif ayant été dissoute dans l'alcool et la liqueur évaporée, a donné des cristaux brillants de morphine pure. L'autre substance a présenté tous les caractères de l'acide méconique. Ils en ont conclu que la morphine préexistait dans l'opium et qu'on pouvait l'obtenir sans employer aucune substance alcaline.

Ils se proposent d'employer ce moyen d'expérimentation pour reconnaître les principes acides et alcalins qui existent tout formés dans plusieurs substances organiques.

M. Matteuci a rappelé l'attention des physiciens sur un fait que tous avaient observé depuis long-temps; c'est que, dans les décompositions chimiques, la réduction de l'oxide au pôle négatif est aidée par l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau. Il prétend être parvenu, au moyen de courants très-faibles, à décomposer un chlorure ou un iodure dissous dans l'eau sans décomposer celle-ci, ce qui prouverait, comme on l'admet maintenant en chimie, que les chlorures et les iodures ne se changent pas, comme on l'avait d'abord cru, en hydrochlorate et en hydriodate, en se dissolvant dans l'eau.

CHAPITRE SECOND.

DES PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES.

---

§ I. *Théorie du magnétisme en mouvement.*

Avant le beau travail de M. Faraday sur l'induction électro-magnétique, pour expliquer les deux actions découvertes par M. Arago dont j'ai déja parlé, plusieurs physiciens avaient pensé que chaque pôle de l'aiguille donnait naissance à un pôle de nom contraire sur le disque en mouvement qui se produisait et se détruisait avec une grande vitesse, moindre cependant dans ce dernier cas que dans l'autre. On fut encore obligé d'admettre que les parties de la plaque qui se trouvaient en avant de l'aiguille dans le sens du mouvement, et celles qui étaient en arrière, exerçaient des actions inégales; dès lors l'aiguille se trouvait entraînée, en vertu de cette inégalité, par le mouvement de la plaque ou retardée dans son mouvement propre, comme l'indique l'observation.

M. Poisson a regardé cette explication comme insuffisante. « Comment, dit-il, pourrait-il arriver que la différence d'action des deux parties d'une plaque de cuivre produise, parallèlement à sa surface, des effets aussi grands que ceux que l'on observe, tandis que son action totale ne donne lieu, dans le sens normal, qu'à des effets presque insensibles dans l'état de repos? »

Ayant déja donné la théorie mathématique de l'action des corps aimantés par influence, lorsque les fluides boréal et austral sont parvenus, dans leur intérieur, à l'état d'équilibre, il s'est proposé aussi de résoudre la même

question dans le cas du mouvement (1). Pour expliquer la différence d'action du magnétisme dans les deux états de repos et de mouvement, il remonte aux premiers principes qui ont servi de base à sa théorie du magnétisme et que nous avons fait connaître précédemment. Ainsi je n'y reviens pas. Je rappellerai seulement qu'il a nommé éléments magnétiques les petites portions des corps dans lesquelles les fluides boréal et austral peuvent se mouvoir, et qui sont séparées les unes des autres par d'autres portions imperméables au magnétisme. La proportion de la somme de leurs valeurs au volume entier du corps varie dans les différentes matières ; ce qui suffit pour expliquer comment, dans l'état de repos, ces matières donnent des signes de magnétisme plus ou moins marqués sous l'influence des mêmes forces extérieures. Cette proportion dépend aussi de la température des aimants. Il suppose que dans l'acier ainsi que dans les substances susceptibles d'une aimantation permanente, la matière du corps exerce une action particulière sur les particules des fluides boréal et austral qui s'opposent à leur séparation et ensuite à leur réunion. Il en résulte que pour aimanter ces substances, il faut vaincre, au moyen d'une force extérieure, l'action de la matière pondérable, qu'on appelle force coercitive. Dans les corps où cette force est nulle ou insensible, la séparation des deux fluides s'opère sans résistance et les phénomènes magnétiques se produisent dès que la moindre force extérieure a commencé d'agir.

M. Poisson admet encore que ces substances exercent sur les particules boréales et australes une sorte d'action analogue à la résistance des milieux, qui retarde le mouvement des fluides dans l'intérieur des éléments magnétiques. Suivant lui, c'est cette espèce de résistance et non la force coercitive qui influe sur les phénomènes magnétiques des corps en mouvement. Les bases po-

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. XXXII, p. 225.

sées, voici sa théorie : Si l'on approche un aimant d'une matière où la force coercitive est insensible et dans laquelle les éléments magnétiques sont en proportion quelconque, la décomposition du fluide neutre commencera aussitôt et continuera jusqu'à ce que l'action du fluide libre fasse équilibre à la force extérieure, ce qui aura infailliblement lieu si cette force est constante en grandeur et en direction. Mais si elle varie continuellement ou si l'aimant change de position, les deux fluides, au lieu de parvenir à un état permanent, se mouvront dans chaque élément avec des vitesses dépendantes, toutes choses égales d'ailleurs, de la résistance que la matière du corps leur oppose. On ne saurait donc déterminer à chaque instant la distribution variable des deux fluides dans les éléments magnétiques. On peut concevoir néanmoins qu'elle soit très différente de la distribution permanente qui a lieu dans l'état d'équilibre. Il fait une observation qui a pour but d'indiquer une cause probable de la différence d'action magnétique, que l'expérience fait connaître, entre les corps, quand ils sont en repos ou en mouvement. Son analyse embrasse les deux cas et est indépendante de toute hypothèse relative à la disposition des deux fluides dans les éléments magnétiques. Elle est fondée sur le principe suivant :

« Si un élément magnétique de forme quelconque est « soumis à l'action d'une force donnée, qui soit la « même pour tous les points, l'action qu'il exercera sur « un point extérieur, de position déterminée, aura pour « expression la somme des trois composantes de cette « force multipliée par des fonctions du temps qui se- « ront nulles dans le premier moment, et qui acquer- « ront des valeurs constantes après un court intervalle « de temps : ce temps très-court dépendra de la vitesse « des deux fluides ou de la résistance que la matière « oppose à leurs mouvements. On fait abstraction, comme « on l'a dit, de la force coercitive dont l'effet se ferait « sentir pendant un temps bien plus long et qui em-

« pêcherait même toute décomposition du fluide neutre « de commencer, tant que la force extérieure n'aurait « pas une grandeur convenable. »

Il tire de ses calculs la conséquence suivante, qui est conforme à l'expérience, savoir : Qu'une matière dans laquelle les éléments magnétiques sont très-rares et qui n'exerce qu'une très-faible action sous l'influence d'une force constante, peut en exercer une très-puissante sous l'influence d'une force variable, et réciproquement, quand les constantes, relatives à ces deux genres d'action, sont données en nombre pour chaque corps en particulier et pour différents degrés de chaleur. M. Poisson a ramené la question à la solution de ce problème : Déterminer l'action magnétique exercée à chaque instant par un corps de forme quelconque en repos ou en mouvement, sur un système de points donnés de position ; ce corps étant soumis à des forces dont les composantes sont aussi données en fonction du temps. Les équations qu'il a obtenues se résolvent facilement, dans le cas d'une sphère homogène tournant sur elle-même avec une vitesse constante, quand la force qui agit sur elle est égale pour tous ses points, comme l'action de la terre ou celle d'un aimant très-éloigné ; son état magnétique est le même que si elle est en repos et que l'on ajoute à la force donnée une autre force semblable, dont la direction soit perpendiculaire à l'axe de rotation, et même à très-peu près normale au plan passant par cette droite et parallèle à la force extérieure ; résultat conforme à une proposition générale que M. Barlow a énoncée et qu'il a conclue de ses observations citées plus haut.

Il a aussi appliqué les formules générales au cas d'une sphère en repos, dont la température varie avec le temps et du centre à la surface, et dont tous les points sont soumis à des forces égales et parallèles. Son état magnétique et l'action qu'elle exerce au dehors dépendent de la vitesse du refroidissement, et ne sont

pas les mêmes que si la température était entretenue à un degré constant en chaque point de la sphère.

M. Poisson a donné les formules relatives à l'action d'une plaque tournante sur une aiguille aimantée, ou d'une plaque immobile sur une aiguille en mouvement, mais appliquables seulement au cas où les bords de la plaque sont assez éloignés des pôles de l'aiguille pour que leur influence mutuelle soit insensible.

Il a déterminé trois composantes de l'action exercée sur un point donné par une plaque circulaire tournant uniformément sur elle-même et dont on considère le diamètre comme infini. L'une de ces forces est parallèle à la surface de la plaque et agit circulairement ; l'autre lui est aussi parallèle, mais elle est dirigée suivant les rayons qui partent de son centre de rotation ; la troisième est normale à cette surface. Si la plaque est horizontale, la première composante est la force qui écarte la boussole du méridien magnétique. Les deux premiers termes de son expression en série suffisent pour représenter avec une exactitude convenable les déviations correspondantes à de très-grandes vitesses qui lui ont été communiquées par M. Arago. Les deux autres agissent sur le pôle inférieur de l'aiguille d'inclinaison : dans le cas où elle est un peu longue, leur action est insensible sur son autre pôle, et si le plan dans lequel elle peut tourner passe par le centre de rotation de la plaque, ces deux forces sont les seules qui la font dévier de sa direction naturelle ; l'action verticale de la plaque tournante sur les deux pôles de l'aiguille horizontale, diminue son poids apparent d'une quantité dont il donne l'expression analytique. La composante horizontale qui agit suivant les rayons de la plaque, a constamment le même signe, quand on regarde le diamètre de la plaque comme infini. Il n'en est plus de même, dans la réalité, lorsque la projection horizontale du point sur lequel cette force s'exerce, s'approche des bords de la plaque.

Si la plaque horizontale est immobile, son action diminue les amplitudes successives de l'aiguille de boussole et de celle d'inclinaison, en influant beaucoup moins sur la durée de leurs oscillations, ce qui s'accorde avec l'expérience. Dans ce cas, les diminutions d'amplitude des deux aiguilles sont des quantités du même ordre et peuvent se déduire l'une de l'autre, ce qui n'a pas lieu dans le cas du mouvement, à l'égard de leurs déviations qui dépendent de quantités d'un ordre différent et ne sont pas liées entre elles. La déviation horizontale correspondant à une vitesse donnée de la plaque étant connue, on en conclura immédiatement, au moyen d'une formule de son Mémoire, la diminution d'amplitude des oscillations de la même aiguille, à la même distance de cette plaque, en supposant seulement que cette distance soit assez considérable pour que la diminution dont il s'agit ne soit qu'une petite quantité de l'amplitude, qui pourra être aussi grande qu'on voudra. Les forces qui produisent l'aimantation de la plaque immobile ou en mouvement, sont le magnétisme terrestre et les pôles de l'aiguille sur lesquelles elle réagit; mais dans le cas d'une plaque très-étendue, comme celle que M. Poisson a considérée, l'influence de la première cause sera considérable. C'est pour ce motif que la réaction de la plaque est sensiblement proportionnelle au carré de l'intensité magnétique des pôles de l'aiguille. Les différents résultats de son analyse coïncident avec ceux de l'observation, dans leur ensemble général; mais pour mettre la théorie hors de doute, il faudra comparer les uns aux autres d'une manière plus précise, ce qui ne présentera aucune difficulté lorsqu'on aura déterminé les constantes relatives à la matière du corps aimanté et à son degré de chaleur, que les formules renferment. Une de ces constantes se rapporte à l'action du magnétisme en repos. Sa valeur est la plus grande dans le fer, moindre dans le nickel et le cobalt, et presque insensible dans les autres substances. Les constantes d'où dépend l'action du magné-

tisme en mouvement sont en nombre infini ; mais elles forment une série très-convergente, dont il suffira généralement de connaître les deux ou trois premiers termes.

§ II. *Recherches relatives à l'intensité du magnétisme libre, en chaque point d'une aiguille aimantée à saturation, par la méthode de la double touche.*

Si l'on prend un fil d'acier d'un petit diamètre, l'expérience a prouvé, comme nous l'avons vu, que lorsqu'il est aimanté à saturation, le développement, du magnétisme est sensiblement égal et de nature contraire dans chacune des moitiés. Cela posé, si l'on élève, en chaque point, des lignes perpendiculaires à ce fil et que l'on porte dessus des longueurs représentant l'intensité magnétique de chaque point, la courbe qui sera formée de la réunion de tous les points extrêmes de ces lignes, sera celle de l'intensité du magnétisme libre. Les ordonnées seront nulles au centre et iront en croissant avec lenteur jusqu'à une certaine distance, puis elles croîtront rapidement jusqu'aux extrémités du fil.

Coulomb a déterminé la valeur de ces ordonnées en présentant successivement une petite aiguille aimantée, librement suspendue, à tous les points du fil qui est placé dans une position verticale, en mettant les pôles inverses en regard. Il résulte de cette disposition que l'aiguille, quand on la dérange de sa position d'équilibre, oscille en vertu de deux forces, d'abord de celle du magnétisme terrestre, puis de la force émanée de la petite aiguille. L'action du globe est proportionnelle au carré du nombre d'oscillations exécutées dans un temps donné ; ainsi il est facile, au moyen d'une soustraction, d'obtenir la force relative au fil. Coulomb est parti de ce principe que le point du fil qui est situé à la hauteur de l'aiguille, est celui dont l'action se fait sentir davantage, non-seulement parce qu'il est le plus rapproché, mais encore parce que l'action s'exerce dans le plan

horizontal où l'aiguille oscille; alors il en conclut qu'en présentant la petite aiguille successivement à toutes les parties du fil, la résultante des actions exercées dans chaque cas sera sensiblement proportionnelle à la quantité de magnétisme libre que possède le point le plus rapproché de l'aiguille. Il est bien certain que ce rapport ne peut s'étendre que jusqu'à une certaine distance de l'extrémité du fil, attendu que les points situés au-delà ne pourront pas agir, puisqu'ils n'existent pas; l'action que l'aiguille éprouve ne serait donc pas la même que si le fil était continué. Dans ce cas, Coulomb a supposé que lorsqu'on expérimente à l'extrémité du fil, la force qui en émane n'est que la moitié de celle qui aurait lieu s'il était prolongé.

M. Biot a cherché la formule qui représente la courbe des intensités magnétiques. Il a trouvé qu'elle formait deux logarithmiques qui ont leurs ordonnées égales, mais de sens contraire. Il a annoncé que cette loi, considérée analytiquement, indique une distribution de magnétisme libre exactement pareille à celle des deux électricités dans les piles électriques isolées, lorsque l'action absorbante de l'air a égalisé les tensions de leurs pôles.

Coulomb, dans ses recherches sur la distribution du magnétisme libre dans des aiguilles d'acier, n'a opéré que sur des aiguilles d'une certaine grosseur. J'ai cherché si la loi qu'il a trouvée s'appliquait aussi aux fils d'acier d'un très-petit diamètre, de $\frac{1}{80}$ de millimètre de diamètre (1). Pour me procurer ces fils, j'ai enchâssé un fil d'acier d'un millimètre de diamètre dans un cylindre d'argent, puis, après avoir tiré le tout à la filière, l'argent a été enlevé au moyen du mercure bouillant. J'ai employé la méthode de Coulomb pour déterminer la distribution du magnétisme, mais en raison de la finesse des fils et de la faible quantité de magnétisme

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. XXII, p. 115.

qu'ils prennent, j'ai été obligé de faire quelques changements à cette méthode. Je suis parvenu au même résultat que lui.

§ III. *De la détermination de l'intensité absolue du magnétisme terrestre.*

Nous avons déja vu, dans la seconde période (1), que l'on avait déja proposé un moyen de déterminer l'intensité absolue de la force magnétique du globe en certains points de sa surface, de manière à pouvoir répéter l'expérience au bout d'un certain laps de temps, avec des appareils qui fussent toujours les mêmes, pour savoir si cette intensité éprouvait des variations dans le cours des siècles.

Dans l'impossibilité de construire des aiguilles parfaitement identiques qui prissent constamment la même quantité de magnétisme, M. Poisson (2) a proposé un procédé qui n'exige plus, pour arriver à cette détermination, d'aiguilles aimantées parfaitement identiques et sous le rapport de leur constitution et sous celui de leur aimantation.

Ce célèbre géomètre a commencé par démontrer qu'il existe une certaine fonction de sept quantités dont la valeur ne dépend pas des aiguilles employées, mais seulement du magnétisme terrestre. Cette valeur, à la vérité, ne peut être obtenue que par approximation : mais, comme on peut la calculer à tel degré d'approximation que l'on veut, il en résulte que l'on peut diminuer à volonté les erreurs de l'expérience. Pour se procurer ces sept quantités, M. Poisson propose de faire osciller séparément deux aiguilles d'acier aimantées à saturation et librement suspendues par leur centre de gravité et de déterminer le temps de chacune de leurs oscillations, puis de placer les centres de gravité des

---

(1) Page 198 de cette notice.

(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXX, p. 257.

deux aiguilles dans une même droite parallèle à la force directrice du globe; elles se dirigeront alors suivant cette ligne; de faire osciller ensuite successivement chacune de ces aiguilles, sous les actions réunies de la terre et de l'aiguille aimantée en repos, en déterminant également la durée de chacune des nouvelles oscillations; enfin de mesurer la distance des centres de gravité de ces deux aiguilles et leurs moments d'inertie, rapporté à leur axe de rotation passant par ces mêmes points. Les résultats fournis par toutes ces expériences suffiront pour calculer la valeur de la fonction à une époque déterminée.

Cette méthode exige seulement que l'aimantation des aiguilles ne change pas pendant la durée de l'expérience par leur action mutuelle et par celle de la terre; condition que l'on remplira en prenant des aiguilles dans lesquelles la force coercitive ne soit pas considérable.

M. Arago (1) a proposé au Bureau des longitudes un procédé plus direct que le précédent, au moyen duquel on peut donner le même degré de magnétisme aux aiguilles aimantées. Ce procédé est fondé sur la propriété dont jouit une aiguille aimantée qui est placée au-dessous d'un plateau métallique auquel on imprime un mouvement de rotation, d'être entraînée avec d'autant plus de force que son magnétisme est plus considérable. On se débarrasse de l'action du magnétisme terrestre en faisant l'expérience dans un plan perpendiculaire à la direction de l'aiguille aimantée. Maintenant, si l'on charge de petits contre-poids les extrémités de l'aiguille pour que le plateau tournant avec une vitesse déterminée, la dévie d'un certain nombre de degrés, ces contre-poids donneront la mesure de l'intensité magnétique du globe. M. Arago n'a encore fait aucune application de cette méthode.

Cette expérience étant répétée de siècle en siècle avec

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxx, p. 263.

le même plateau ou avec un plateau de même nature ayant exactement les mêmes dimensions, pourra servir à déterminer les variations de l'intensité magnétique du globe.

§ IV. *De l'influence de la chaleur sur le magnétisme du fer et de l'acier.*

L'influence de la chaleur sur le magnétisme du fer et de l'acier a été déterminée d'une manière très-incomplète par les physiciens qui s'en sont occupés dans le cours de la première et de la seconde période. Ils étaient même parvenus à des résultats contradictoires relativement à l'action magnétique du fer chauffé. Cette divergence provenait de ce qu'ils n'avaient pas toujours opéré aux mêmes degrés de température. Le P. Kircher, par exemple, avait annoncé que le fer agissait aussi fortement sur un aimant à chaud qu'à froid, tandis que Newton avait affirmé que le fer chaud ne jouissait plus d'aucune propriété magnétique. Cette différence vient, comme nous allons le voir, de ce que le premier avait élevé la température du métal jusqu'au rouge, tandis que l'autre l'avait portée au blanc.

M. Barlow (1), professeur à l'école militaire de Wolwich, a repris cette question, afin de trouver la cause d'une différence aussi tranchée.

Il a fait usage, dans ses expériences, d'un barreau en fer ayant la forme d'un parallélipipède de 25 pouces de long et de 1 pouce $\frac{1}{4}$ de côté, qu'il a placé dans le méridien magnétique, sous l'angle de l'aiguille d'inclinaison et à des distances de 5 et 9 pouces d'une boussole horizontale. Il a observé, en premier lieu, que le barreau de fer, quand il est chauffé jusqu'au blanc, n'exerce aucune action magnétique sur l'aiguille horizontale, mais que cette action devient, au contraire,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xx, p. 107.

très-intense lorsque le barreau est d'une couleur rouge de sang.

Dans les températures ordinaires, qui donnent au fer une nuance comprise entre le rouge ordinaire et le rouge brillant, l'action du barreau s'exerce en sens contraire, c'est-à-dire que la polarité change; mais si on laisse le barreau se refroidir en face du pôle qui l'avait attiré, l'aiguille sera repoussée dès l'instant que la teinte sera devenue rouge de sang.

M. Barlow a déterminé, dans le cours de ses expériences, la faculté dont jouit chaque espèce de fer d'attirer ou de déranger une aiguille à la température ordinaire. Il a formé le tableau suivant, dans lequel chaque fer est rangé suivant sa faculté magnétique.

Fer malléable....................	100.
Acier fondu, non trempé........	74.
Acier (blistered) non trempé.....	67.
Acier (shear)..................	66.
Acier (shear) trempé............	53.
Acier (blistered) trempé.........	53.
Acier fondu, trempé............	49.
Fer fondu.....................	34.

En faisant varier la température, dans ces diverses espèces de fer, il a reconnu qu'à une chaleur très-forte, le pouvoir attractif ou répulsif du fer malléable, loin d'être le plus grand, est, au contraire, le plus petit. Dans le fer fondu, les effets sont bien différents, car il devient trois fois plus considérable à une température très-élevée.

M. Barlow a cherché à expliquer le renversement de polarité qu'il a observé en chauffant le fer entre la température du rouge ordinaire et du rouge brillant, en supposant que, pendant le refroidissement des barreaux, les extrémités où le refroidissement est le plus rapide, deviennent magnétiques avant tout le reste du métal, et qu'il doit en résulter des effets composés.

Cependant, cet habile physicien ne pense pas que cette considération satisfasse à toutes les circonstances du phénomène.

On savait depuis long-temps qu'il était nécessaire, pour avoir des observations exactes sur les variations de l'aiguille aimantée, de déterminer l'influence qu'exercent sur la boussole les masses de fer qui se trouvent à bord des vaisseaux. M. Barlow s'est occupé de cette question dans un Mémoire qui a été couronné par la Société royale de Londres. Il a prouvé que les variations de l'aiguille aimantée peuvent être attribuées à trois causes locales: 1° aux décompositions du fluide produites dans les masses de fer par l'aiguille elle-même; 2° à l'état magnétique permanent que ces masses acquièrent; 3° à celui passager qu'il prend sous l'influence du globe terrestre. Il a indiqué en même temps les précautions à prendre pour éviter ces trois causes d'erreur. On se garantit de la première, qui est très-faible, en plaçant le lieu de l'observatoire le plus éloigné possible des grandes masses de fer. Il a imaginé un appareil destiné à faire connaître la déviation qui est produite par le fer du vaisseau, et auquel il a donné le nom de compensateur magnétique. Cet appareil, quoique d'un emploi difficile dans la pratique, sert cependant à diminuer les grandes déviations de la boussole.

Plusieurs marins avaient eu l'occasion de remarquer que la marche de leur chronomètre éprouvait quelquefois des dérangements qui allaient jusqu'à 5″ à 10″ par jour, en raison de l'influence du magnétisme. On a attribué ces variations à l'aimantation des pièces mobiles en acier mises en mouvement par l'effet du balancier. En recherchant directement, par l'expérience, ce qui se passe dans un chronomètre, quand on le place près d'un aimant, on a reconnu que sa marche était dérangée Dès lors on en a conclu que les masses de fer qui se trouvent à bord des vaisseaux doivent réagir sur la march du chronomètre. Jusqu'ici on n'a pu le garantir de cett influence, qu'en le plaçant toujours, dans le même lieu

le plus éloigné possible des substances magnétiques.

M. Kupffer (1), professeur à l'université de Kasan, s'est occupé d'une question dont la solution est d'un haut intérêt pour les recherches relatives au magnétisme terrestre, celle de la détermination de l'influence que la chaleur exerce sur la distribution du magnétisme libre des aiguilles. Ayant fait osciller, à diverses températures, une aiguille aimantée horizontale, librement suspendue, il a d'abord constaté le fait que l'intensité de sa force magnétique diminue à mesure que la température s'élève. Ayant voulu se livrer à une longue suite de recherches sur le magnétisme terrestre, il a fait ces observations aux mêmes heures, pendant deux jours consécutifs, afin de se garantir des variations diurnes auxquelles l'intensité du magnétisme terrestre est sujette.

Il a trouvé que, dans l'intervalle de 0° à 30° R. à peu près, chaque degré de chaleur a augmenté d'une demi-seconde la durée de 300 oscillations de son aiguille. Ayant réduit les observations faites à différentes heures, à la même température, pour voir si chacune d'elles embrassait un assez grand nombre d'oscillations pour démontrer l'existence d'une variation diurne de l'intensité du magnétisme terrestre que plusieurs physiciens ont reconnue, les valeurs qu'il a obtenues présentent des différences si faibles qu'il n'a pu en tirer la même conséquence que ceux-ci.

N'ayant pu déterminer avec exactitude la loi du décroissement des forces magnétiques, parce que les observations embrassaient un trop petit nombre de degrés de température, il eut recours à une autre méthode. Ayant placé un barreau récemment aimanté au-dessous d'une aiguille librement suspendue, les pôles inverses en regard, les oscillations devinrent naturellement plus rapides, puisqu'elles étaient exécutées en vertu de l'action magnétique du globe et de celle du barreau. Cette

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXX, p. 113.

aiguille, quand elle était soustraite à l'action du barreau, exécutait 300 oscillations en 742″ à 13° de température, et il ne fallait plus que 429″ pour exécuter le même nombre d'oscillations, quand elle était placée au-dessus du barreau. Celui-ci fut plongé dans une cuve de cuivre dont on porta successivement la température jusqu'à 80°, et l'on compta toujours le nombre de secondes que l'aiguille employait pour exécuter les 300 oscillations.

M. Kupffer tira, des résultats qu'il obtint, les conséquences suivantes, savoir : que l'intensité de la force magnétique diminue par la chaleur ; qu'un barreau aimanté, à la température de 13°, étant chauffé jusqu'à 80° et puis refroidi, ne reprend plus la même force magnétique qu'il avait avant, cette force est moindre ; que cet effet ne peut être attribué qu'à une perte du magnétisme occasionée par la chaleur, qui est indépendante des variations de l'intensité de la force magnétique à diverses températures. Il a été conduit par-là à distinguer deux grandeurs p et q : la première exprime l'intensité de la force magnétique du barreau à 13° de température, lorsqu'après avoir été chauffé jusqu'à 80, on le refroidit jusqu'à 13°, en prenant pour unité la force du même barreau avant d'être échauffé. La seconde est l'intensité de la force magnétique du barreau à 80°, celle de 13 étant prise pour unité. En divisant 300, qui est le nombre d'oscillations toujours constant, par 429″, qui est leur durée au commencement de l'expérience, quand la température est de 13°, et élevant au carré, on a la force qui sollicite l'aiguille au commencement de l'expérience ; mais comme cette force est la résultante de la force exercée par le barreau aimanté et de celle du magnétisme terrestre, il est nécessaire de retrancher du nombre trouvé la force due au globe. Il est ainsi parvenu, après plusieurs réductions, à déterminer l'intensité de la force magnétique du barreau qui, après avoir été chauffé à 80°, est revenu à la température ordinaire de 13° supposée égale à l'unité. Il a déterminé pour plusieurs bar-

reaux les valeurs de p et de q. Les barreaux qui lui avaient servi, ayant été nettoyés avec soin, furent mis de nouveau en expérience en les entourant de glace et leur température portée de 0° à 80°, puis abandonnés à un refroidissement spontané. Il calcula également les valeurs de p et de q dans ces différents cas, et conclut de toutes ces expériences que la durée de 300 oscillations, dans l'intervalle de 0 à 30°, augmente de 0″, 5 pour chaque degré de chaleur; que les accroissements de la durée sont à peu près proportionnels aux accroissements de la température, dans l'intervalle de 0° à 80°. Il a déterminé ensuite la loi des décroissements de l'intensité du magnétisme par la chaleur. Il a trouvé que les décroissements de la force d'un barreau diminuent en raison simple des accroissements de la chaleur.

En élevant la température de l'une des extrémités d'un barreau aimanté, M. Kupffer a trouvé que l'intensité de la force magnétique s'affaiblissait, et que la distribution du magnétisme éprouvait quelques changements. Il a reconnu aussi que le point d'indifférence s'éloigne du point chauffé, c'est-à-dire du pôle dont la force magnétique diminue, résultat qui se trouve confirmé par la loi de la distribution du magnétisme dans les barreaux, qui a été calculée par M. Biot, d'après les expériences de Coulomb. M. Kupffer a encore fait quelques expériences pour mettre en évidence la loi générale; je citerai l'expérience suivante, parce qu'elle nous fait connaître un fait important. Un barreau de fer doux ayant été placé à côté et parallèlement à l'aiguille, dans une position telle que l'aiguille ne sortît pas du méridien magnétique, ce barreau, sous l'influence du globe, devint lui-même un aimant. Il en résulta que l'extrémité située vers le nord repoussa le pôle boréal de l'aiguille, tandis que l'extrémité située vers le sud, repoussa le pôle austral. Ayant chauffé le barreau à l'une de ses extrémités, le pôle de l'aiguille qui se trouvait du même côté, fut attiré. Ce résultat prouve que le point d'indifférence du barreau aimanté par l'action du magnétisme terrestre,

s'approche de l'extrémité qu'on chauffe, et que par conséquent la force magnétique du fer doux augmente par la chaleur.

M. Kupffer (1) s'est occupé aussi de la question relative à la distribution du magnétisme dans les barreaux d'acier aimantés, question qui, comme on sait, avait excité toute la sagacité de Coulomb. Il a employé la même méthode que ce célèbre physicien, laquelle consiste à faire osciller, à la même distance, une petite aiguille horizontale devant différents points d'un barreau aimanté vertical, et à compter le nombre d'oscillations exécuté dans un temps donné. Il a d'abord déterminé la force magnétique communiquée à un barreau cylindrique d'acier fondu, non trempé, par l'action seule du magnétisme terrestre. Le cylindre ayant été retourné, perdit entièrement le magnétisme qu'il avait acquis primitivement; mais il ne reprit pas de suite l'état opposé, excepté aux extrémités où il se manifesta d'abord un degré de magnétisme très-faible, et contraire à celui qui s'était développé en premier lieu.

Passant ensuite à la distribution du magnétisme dans les barreaux qui ont reçu divers degrés d'aimantation, il commença par ceux qui en possèdent un très-faible. Pour le leur communiquer, il fit glisser le barreau perpendiculairement sur le pôle boréal d'un aimant artificiel très - fort, et le replaça ensuite devant l'aiguille, le pôle boréal du barreau était dirigé en haut. Il trouva que le pôle austral était plus fort que le pôle boréal, et que le point d'indifférence était plus près du pôle le plus fort que de l'autre. Le barreau ayant été retourné, les forces magnétiques, des différents points, augmentèrent, et le point d'indifférence se rapprocha du milieu. Le barreau n'éprouva ces changements que successivement, et n'atteignit son état final qu'après être resté plusieurs heures dans la même po-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVI, p. 50.

sition. Il remarqua que toutes les fois que les forces magnétiques du barreau augmentaient, le point d'indifférence se rapprochait lentement du milieu; que ce point était toujours plus près du pôle le plus fort que de l'autre ; qu'un barreau aimanté vertical avait plus de force lorsque le pôle boréal, dans notre hémisphère, était tourné en bas, et qu'un barreau aimanté suivant la méthode employée ci-dessus, était toujours le plus fort au pôle immédiatement produit par celui de l'aimant.

Il a donné ensuite le résultat des observations qu'il a faites avec le même barreau aimanté jusqu'à saturation, par la méthode de Coulomb, puis il s'est occupé ensuite de l'influence qu'exerce la forme des extrémités d'un barreau sur la force magnétique et sur la position du point d'indifférence. Un barreau cylindrique, en acier fondu et non trempé, fut arrondi à une de ses extrémités, aimanté à saturation et placé sur la ligne de l'aiguille à une distance de 14 centimètres. Lorsque le pôle nord du barreau était dirigé vers le sud, la force du pôle boréal arrondi fut trouvée égale à 2,0319, et celle du pôle austral égale à 2,1558. Dans la position opposée du barreau, la force magnétique du pôle boréal était égale à 2,2198, et celle du pôle austral égale à 2,3006. Le point d'indifférence était au milieu.

La même extrémité qui avait été arrondie, fut limée en pointe, aiguisée de plus en plus et mise successivement en expérience, après avoir été chaque fois aimantée à saturation. La force du pôle pointu diminua à mesure que la pointe devint plus aiguë. Le point d'indifférence s'éloigna toujours de cette extrémité. La température, qui exerce une influence si marquée sur l'intensité des forces magnétiques, influe également sur leur distribution.

Un parallélipipède en acier trempé, de 503 millimètres de longueur, de 15 $\frac{1}{2}$ de largeur, et de 5 millimètres d'épaisseur, fut aimanté à saturation et placé verticalement devant l'aiguille, dans l'appareil qui lui avait servi

dans ses premières observations, pour déterminer la force magnétique des différents points d'un barreau aimanté. Il a vu qu'elle faisait, n'étant sollicitée que par le magnétisme terrestre, 50 oscillations en 268″. Un tableau renferme l'ensemble des oscillations. Ce même barreau ayant été chauffé jusqu'à 80° et remis dans l'appareil après le refroidissement, la force avait diminué considérablement.

Ces observations font voir que la perte du magnétisme occasionée par la chaleur n'est pas uniforme dans toute la longueur du barreau, mais qu'elle est plus considérable vers l'extrémité que sur le milieu.

Nous avons déja vu, à la fin de la dernière période, toutes les tentatives qu'on avait faites pour former des aimants artificiels doués d'une grande énergie, mais les résultats obtenus par les anciens physiciens ne sont rien en comparaison de ceux qui ont été trouvés dans ces derniers temps. Le procédé consiste à enrouler autour d'une lame de fer recourbée en fer à cheval un fil de métal recouvert de soie, dans lequel on fait passer un courant électrique provenant d'un couple voltaïque d'une dimension ordinaire; le fer à cheval acquiert alors une aimantation assez forte. Cette aimantation devient énergique et capable de porter des masses de fer pesant jusqu'à deux mille livres quand on augmente les dimensions du disque et celles du fer à cheval.

Il paraît que ces appareils, auxquels on a donné le nom d'aimants électro-dynamiques, ont été construits pour la première fois en 1828, par M. Watkins, artiste anglais, sur l'invitation de M. Lardner, professeur à l'Université de Londres. Plus tard, M. Moll à Bruxelles, les professeurs Webster et Hare, MM. Henry et Ten Eyck aux États-Unis, se sont occupés aussi de cette question.

M. Moll (1) a répété à l'Institut des Pays-Bas une expérience de ce genre qui avait été faite d'abord par M. Stur-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. L, p. 324.

geon de Woolwich. Il avait pris un baquet de cuivre rouge, dans lequel plongeait une plaque de zinc. Les fils conducteurs qui partaient du cuivre et du zinc étaient de cuivre rouge et plongeaient dans de petits vases de bois remplis de mercure bien pur. Il avait fait préparer d'avance un morceau de fer doux anglais, ayant la forme d'un fer à cheval, aux pôles duquel était adapté un contre-poids. Autour de ce fer était enroulé en hélice un fil de cuivre rouge. Les deux extrémités du fil qui l'entourait furent mises dans les petits vases où plongeaient aussi les deux fils conducteurs de l'électricité voltaïque. Au moment du contact, l'aimant artificiel fut capable de porter vingt-cinq kilogrammes, et, avec des précautions on parvint à lui en faire porter trente-huit. Cet état magnétique cessa dès l'instant que le courant ne circula plus. Il a reconnu que l'aimant porte le plus au moment où l'on établit le contact des fils conducteurs avec l'élément voltaïque. Si l'on augmente successivement la charge et qu'elle tombe, la charge suivante ne peut jamais revenir aussi grande. M. Moll, d'après le conseil de M. Vanbeck, fit construire un fer à cheval en cuivre, exactement semblable au fer employé, mais il ne parvint pas à lui communiquer de la force.

Un barreau d'acier courbé en fer à cheval, et aimanté d'avance, fut soumis à son tour à l'action des courants électriques, mais sans aucun résultat. Cet aimant ne porta jamais que cinq livres pendant l'expérience et après, comme il l'avait fait d'abord.

M. Quetelet (1) s'est livré à des recherches sur les degrés successifs de force magnétique qu'une aiguille d'acier reçoit pendant les frictions multiples qui servent à l'aimanter. Il s'est attaché particulièrement à découvrir ce qui se passe dans la distribution des forces magnétiques pendant l'aimantation, après un nombre donné de frictions. Ce travail lui a présenté des difficultés nom-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LIII, p. 248.

breuses, attendu qu'il est très-difficile d'employer des frictions toujours parfaitement semblables. Il a employé à cet effet la méthode d'aimantation connue sous le nom de contact séparé. Il a mesuré ensuite la force de l'aiguille après chaque friction, en comptant la durée de 100 oscillations horizontales avec deux chronomètres. Ces expériences ont été faites dans un lieu où la température était à peu près constante. Il a donné successivement à l'aiguille jusqu'à 30 doubles frictions, et à chacune d'elles il a déterminé la force que l'aiguille avait acquise.

Il a représenté la loi des accroissements de l'intensité magnétique au moyen d'une formule dont il a modifié la forme de l'exposant. Je ne puis entrer ici dans l'examen de cette formule et des observations qu'il a faites pour en déterminer numériquement les éléments. Je me bornerai à rapporter les principaux résultats auxquels il est parvenu :

1° Quand on aimante à saturation, par la méthode du contact séparé, une aiguille ou un barreau qui n'avait point encore reçu l'aimantation, la force magnétique acquise est un maximum par rapport aux forces qu'on pourrait donner à cette même aiguille ou à ce même barreau par des renversements subséquents des pôles.

2° La force magnétique que peut acquérir l'aiguille devient de plus en plus faible à mesure que les renversements de pôles se multiplient.

Les séries de frictions qui tendent à ramener les pôles dans leur état primitif sont plus efficaces que les autres.

3° Cette différence entre les forces qu'acquiert l'aiguille, après le renversement successif des pôles, va continuellement en s'affaiblissant, et converge vers une limite.

Elle dépend en général de la grandeur de l'aiguille par rapport à celle des barreaux glissants, ainsi que de la force de coercion.

4° On ne donne point à une aiguille toute la force magnétique qu'elle peut acquérir, si les frictions n'ont

pas lieu sur toute la surface; ceci devient surtout sensible dans le renversement des pôles.

5° Les barreaux glissants donnent, toutes choses égales, aux barreaux de même dimension qu'eux, une force magnétique égale à celle qu'ils possèdent, et dans les barreaux de dimension différente, les forces acquises sont comme les cubes des dimensions homologues.

La dernière partie de cet énoncé est établie depuis long-temps par les expériences de Coulomb.

6° Quand on frictionne des barreaux aimantés avec d'autres barreaux plus faibles qu'eux, la force des premiers diminue au lieu d'augmenter, et il paraît que la force deviendrait celle que ces derniers barreaux seraient susceptibles de donner aux premiers par l'aimantation directe.

7° La relation qui existe entre les forces que reçoit une aiguille ou un barreau par des frictions successives, et le nombre de ces frictions, peut être exprimée par une formule exponentielle contenant trois constantes.

Une seule de ces trois constantes paraît changer de valeur avec la grandeur des barreaux qu'on aimante, du moins tant que ces barreaux conservent une grandeur qui n'excède pas celle des barreaux glissants, et qu'ils sont de même qualité d'acier.

Ainsi l'on connaît d'avance les degrés successifs de force que va prendre un barreau à chaque friction, si l'on a déterminé préalablement la loi de ces accroissements, pour les mêmes barreaux glissants, et pour un autre barreau quelconque qui doit servir de module. Si le barreau qu'on frictionne avait un commencement d'aimantation, il faudrait calculer d'abord le nombre de frictions auxquelles correspond cette force, afin de pouvoir assigner le rang des frictions subséquentes et la grandeur des forces magnétiques correspondantes.

8° Quand les barreaux glissants sont plus grands que le barreau qu'on aimante, dès la première friction complète, la force du magnétisme est à très-peu près moitié

de la force qu'aura le barreau aimanté dans son état définitif.

Après la douzième friction complète, la force magnétique diffère peu de celle que les barreaux glissants peuvent communiquer.

Ces faits sont intéressants à connaître pour les physiciens qui, se livrant à des observations sur le magnétisme terrestre, renversent les pôles d'une aiguille par une nouvelle aimantation.

§ V. *Influence du magnétisme sur les actions chimiques.*

Depuis que l'on s'occupe d'électricité et de magnétisme, les physiciens n'ont jamais pu se défendre du pressentiment que les phénomènes magnétiques devaient dépendre d'une cause analogue à celle des phénomènes électriques. Avant même la découverte d'Œrsted, on avait déja cherché (comme nous l'avons vu) à établir cette identité. De même que les forces électriques produisent des actions chimiques, on voulut aussi à toute force obtenir des effets semblables avec des aimants; quoique les résultats auxquels on soit parvenu n'aient pas réuni les suffrages de tous les savants, je dois néanmoins en faire mention dans cette notice.

Ritter est un de ceux qui aient fait le plus d'expériences concernant l'action de l'aimant, comme force électrique et comme force chimique (1). Il avança qu'un fil de fer aimanté, combiné avec un autre non aimanté, produit les contractions dans la grenouille. Il remarqua que le pôle méridional produisait de plus fortes contractions que le fer non aimanté. Ayant placé un fil de fer aimanté sur des pièces de verre, dans un plat de faïence rempli d'acide nitrique très-faible, le pôle austral fut plus attaqué que l'autre.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 197.

Ritter fit plusieurs expériences pour constater de nouveau l'influence du magnétisme sur les actions chimiques. Ayant pris deux petits flacons remplis de teinture de tournesol, l'un contenait les deux pôles australs de deux aiguilles, l'autre, les pôles nord de deux fils semblables. L'oxidation fut plus grande dans ce dernier flacon. Ritter ne put parvenir à construire une batterie d'aimant.

M. Muschman(1), professeur de chimie à l'Université de Christiania, s'occupa des effets du magnétisme terrestre sur la précipitation de l'argent. Dans un des cours de chimie qu'il fit en 1817, voulant exposer la théorie de l'arbre de Diane, il prit un tube en forme de siphon, versa dans la partie inférieure du mercure, sans remplir entièrement la courbure, de manière qu'il pût y avoir une communication libre dans les deux branches. Il versa dedans une dissolution assez forte de nitrate d'argent; les deux branches étaient situées dans la direction du méridien magnétique. Après quelques instants, l'argent commença à se précipiter avec son éclat naturel, mais il s'amassa particulièrement dans la branche tournée vers le nord; dans l'autre branche il se montra d'un éclat moins vif, et se trouva mêlé avec le sel mercuriel formé. Il attribua sur-le-champ l'effet à l'action du magnétisme terrestre.

Il répéta la même expérience devant le professeur Hansteen; le résultat fut le même. Ils employèrent simultanément deux siphons préparés de la même manière; l'un était placé dans la direction N.-S., l'autre dans celle de l'E.-O. L'argent commença à se précipiter dans le tube dirigé du N. au S.; il s'éleva surtout dans la branche du nord avec un éclat plus vif que dans l'autre branche. Quant au tube dirigé de l'E. à l'O., on n'y remarqua quelque altération qu'au bout de douze heures. Ces expériences convainquirent ces deux observateurs de l'influence du magnétisme terrestre sur la précipitation de l'argent, de

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 201.

la dissolution nitrique. Il paraît qu'elles furent faites en 1817 (1), avant la découverte d'OErsted. M. Muschman en conclut à cette époque l'identité du galvanisme et du magnétisme. Suivant lui, toute dissolution était le résultat d'un effet galvanique; le métal précipité s'emparait de l'électricité mise en liberté, et se portait, pour s'en dégager, à l'endroit où devait se trouver l'électricité opposée, qui était le pôle nord. Il ne publia pas cette hypothèse, tant il la trouva prématurée; mais il en fit part seulement à ses amis, MM. Hansteen et Keiser, et à M. OErsted. Il y ajouta qu'à Kœnisberg, on trouve de l'argent sous forme métallique, qui s'étend du nord au sud, et la présence de ce métal est toujours annoncée par une certaine quantité de pyrites et de blendes. Il a été porté en conséquence à supposer que l'argent avait été primitivement uni au soufre, et que, par le seul effet du magnétisme terrestre, il avait été transporté vers le cuivre et le zinc.

M. Hansteen (2) confirma les mêmes expériences, dans une lettre adressée à M. Gilbert, en date du 22 janvier 1821. Suivant lui, il prétend que l'arbre de Diane se développe avec plus de force lorsque le tube est placé dans le méridien magnétique, que lorsqu'il est dirigé de l'E. à l'O. L'arbre de Diane s'élève plus haut dans la branche nord que dans la branche sud, et y présente aussi un éclat plus vif que dans l'autre. Dans le cas où de nouvelles expériences viendraient confirmer ces faits, il faudrait en conclure que la force magnétique a aussi des effets chimiques. M. Hansteen rapporte encore, dans cette lettre, qu'il remit une note sur ces phénomènes à M. OErsted, en 1819.

Fresnel fit quelques expériences dans le but de décomposer l'eau par un aimant (3). Il eut l'idée qu'il pourrait se produire un courant électrique dans une hélice électro-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 204.
(2) *Idem*, t. XXXVIII, p. 206.
(3) *Idem*, t. XV, p. 219.

dynamique, dans laquelle on introduirait un barreau aimanté. A cet effet il enveloppa un barreau aimanté d'une hélice en fer à cheval, en ayant l'attention de recouvrir l'aimant de soie; les deux bouts du fil plongeaient dans de l'eau légèrement acidulée. Ces trois premières expériences parurent lui confirmer ses conjectures; aussi annonça-t-il à l'Académie des sciences, dans la séance du 6 novembre, qu'il avait obtenu des signes assez certains de l'action galvanique produite par l'influence des aimants; mais il observa depuis des anomalies nombreuses dont il ne put découvrir la cause, et qui lui firent regarder comme douteux ce qui lui avait d'abord paru certain. Ce qui l'avait frappé le plus dans la seconde expérience, ce fut de voir l'extrémité du fil qui devait jouer le rôle de fil positif, s'oxider fortement, tandis que l'autre extrémité conservait son éclat métallique, et cela pendant une semaine entière. L'extrémité négative s'était couverte d'un dépôt salin, qu'il soupçonna être du sulfate de chaux, lequel dépôt avait préservé le fil de l'oxidation.

L'abbé Rendu (1), professeur de physique à Chambéry, annonça qu'en prenant un tube recourbé en V, le remplissant d'une teinture de chou rouge et plongeant dans chaque branche un fil de fer, en communication chacun avec l'un des pôles d'un aimant, un quart d'heure après, la couleur de la teinture devient d'un beau vert dans les deux branches, tandis que la liqueur, abandonnée à l'action spontanée, devient rouge.

M. Erdman (2) s'est beaucoup occupé de l'influence que peut avoir le magnétisme sur les actions chimiques; toutes les expériences qu'il a faites à ce sujet l'ont conduit à un résultat négatif; ainsi il regarde les effets chimiques que l'on a attribués à l'influence des aimants comme dus à d'autres causes, dont les observateurs ne se sont pas garantis.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXVIII, p. 196.
(2) Bibl. univ., t. XLII, p. 96.

M. Ampère tout récemment a avancé que les effets chimiques que l'on a attribués, dans quelques cas, à l'action des aimants, pourraient bien provenir des courants que ces mêmes aimants développent par influence. Il a fait l'application de son principe à la décomposition de l'eau que Fresnel avait cru un instant avoir produite avec des aimants. Il dit que les courants par induction étant instantanés, ne peuvent produire de décompositions; mais les variations d'intensité du magnétisme des barreaux, qui ont lieu en raison des changements continuels de température, peuvent produire un effet semblable à celui que l'on obtient quand l'on approche et que l'on éloigne successivement un aimant des fils de métal. Voilà comment il explique la continuité du courant et celle de l'action chimique qu'il produit.

Morichini avait annoncé que la portion violette du spectre était capable d'aimanter une aiguille d'acier; mais jusqu'ici les expériences que l'on a faites pour constater ce fait ont été souvent contradictoires. Le procédé employé par le physicien italien consiste à prendre une aiguille à coudre sans magnétisme, dont on enveloppe une moitié avec du papier, et à exposer ensuite la portion découverte aux rayons violets; l'aiguille acquiert le magnétisme.

Mme Sommerville (1) en 1826, en présence de Wollaston, répéta l'expérience avec succès. M. Zantédeschi (2) obtint les mêmes résultats.

M. Christie (3) admit aussi que les rayons solaires possèdent la propriété magnétique, après qu'il eut fait osciller des aiguilles aimantées à l'ombre, au soleil ou dans des rayons colorés; mais on ne voit pas que ce physicien ait tenu compte des effets produits par les différences de température.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXI, p. 393.
(2) Bibl. univ., t. XLI, p. 64.
(3) *Idem*, t. XXXIV, p. 191 et t. XLI, p. 52.

M. Baungartner (1), à Vienne, a annoncé que la lumière blanche directe du soleil peut aimanter l'acier, quand l'aiguille qui est soumise à son action présente des places alternativement brillantes et oxidées.

D'autres physiciens n'ont obtenu aucun résultat. Je citerai particulièrement MM. Ries et Moser (2), qui ont trouvé qu'en prenant toutes les précautions possibles pour se garantir de l'action du globe, on ne pouvait jamais parvenir à aimanter une aiguille d'acier.

M. Barlocci (3) annonça également que l'on pouvait faire naître des contractions dans la grenouille en mettant en contact deux disques, dont l'un, communiquant avec les muscles de l'animal, était placé dans les rayons rouges, et l'autre, placé sur les nerfs, se trouvait dans les rayons violets. Mais il est probable que l'observateur n'a pas tenu compte, dans cette expérience, des impuretés qui se trouvent sur les surfaces des métaux, et qui sont suffisantes, comme nous l'avons vu, pour exciter la grenouille. S'il se fût mis en garde contre cette cause d'erreur, il aurait été conduit à une autre conséquence que celle qu'il a tirée de ses expériences.

Je ne dois pas oublier de parler d'un phénomène singulier qui a été découvert, il y a quelques années, par M. Lebaillif (4), et qu'on n'a pas encore pu expliquer. On suppose qu'il a une origine électro-magnétique. Ce phénomène est l'action répulsive qu'éprouvent les pôles d'une aiguille aimantée, délicatement suspendue, de la part de petits morceaux d'antimoine et de bismuth qui en sont placés à peu de distance.

M. Auguste Delarive a avancé l'idée que cette répulsion pourrait bien être due au développement des courants par influence produits dans ces deux métaux par le magnétisme de l'aiguille aimantée, d'où résulterait

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIII, p. 333.
(2) *Idem*, t. XLII, p. 304.
(3) Bibl. univ., t. XLII, p. 11.
(4) Bibl. univ., t. LX, p. 82.

une répulsion; mais ce n'est encore là qu'une hypothèse un peu gratuite, comme son auteur la considère lui-même.

§ VI. *Recherches relatives au magnétisme terrestre.*

Dans cette période, on a continué à apporter plus de précision dans les expériences relatives au magnétisme terrestre; les observations de déclinaison et d'inclinaison ont été faites en renversant les pôles de l'aiguille aimantée, et l'on a eu égard aux changements de température dans la durée de chaque expérience. Toutes les observations ont été discutées avec soin, et l'on en a tiré des conséquences générales d'une grande importance. On va en juger par l'exposé qui suit:

M. Arago (1), au nom d'une commission de l'Institut de France, a fait un rapport sur le voyage de découvertes exécuté par la corvette *la Coquille*, dans les années 1822, 1823, 1824 et 1825, sous le commandement de M. le capitaine Duperrey. On y trouve entre autres des réflexions d'un grand intérêt sur le déplacement probable de l'équateur magnétique.

La Coquille ayant coupé six fois l'équateur magnétique, on a pu déterminer directement la position de deux de ses points, qui sont situés dans l'Océan Atlantique; sur la carte de M. Morlet, les latitudes des points de la ligne sans inclinaison, qui correspondent aux mêmes longitudes, sont plus considérables de 1° 43′ et 1° 50′. M. Arago en a conclu que l'équateur magnétique semble s'être rapproché de l'équateur terrestre des mêmes quantités. La carte de M. Hansteen offre les mêmes différences.

Dans la mer du Sud, près de la côte d'Amérique, M. Duperrey a trouvé deux points de l'équateur magnétique dont il a déterminé les coordonnées. Sur les cartes

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXX, p. 347.

de MM. Hansteen et Morlet, les latitudes de ces points sont d'environ un degré plus petites, mais la différence est en sens contraire de celle qui a été trouvée dans l'Océan Atlantique. Il résulte de là que, près des côtes du Pérou, l'équateur magnétique paraît s'être éloigné de l'équateur terrestre.

M. Duperrey a trouvé, pour les deux points situés dans la partie boréale et qu'il a déterminés directement, des latitudes qui sont plus grandes que sur les cartes qui représentent l'équateur de 1780. D'après cela, dans la partie de l'Océan Équinoxial qui correspond aux Carolines et aux îles Mulgraves, la ligne sans inclinaison semble donc s'éloigner maintenant de l'équateur magnétique. M. Arago pense que, pour expliquer de semblables variations, on peut admettre que l'équateur magnétique est doué d'un mouvement de translation qui le transporte d'année en année, progressivement et en masse, de l'orient à l'occident. Depuis 1780, on ne peut guère évaluer la rétrogradation des nœuds au-dessous de 10°, afin de pouvoir expliquer les changements observés dans les latitudes. Il a cherché à démontrer la rapidité de ce déplacement, en comparant les résultats obtenus par MM. Morlet et Hansteen avec les observations directes recueillies par MM. Duperrey et Freycinet.

M. Arago (1) a donné un supplément à son article sur les aurores boréales, dont nous avons déja parlé. Il a remarqué, comme nous l'avons vu, que les aurores boréales qui sont visibles seulement en Amérique, à Pétersbourg et en Sibérie, malgré la distance immense qui nous sépare de ces régions, dérangent notablement l'aiguille aimantée de Paris. Les aurores de l'hémisphère austral produisent-elles également quelque effet? M. Arago avait d'abord cru pouvoir répondre affirmativement à cette question, d'après diverses observations d'aurores boréales qui lui avaient été com-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLV, p. 403.

muniquées par M. Simonoff; mais il a reconnu depuis que les jours où le navigateur russe voyait des aurores vers le pôle sud, le phénomène se montrait au nord. Ainsi donc ses observations ne peuvent mener à aucune conséquence.

Nous devons à M. Kupffer (1) des recherches intéressantes sur les variations de la durée moyenne des oscillations horizontales de l'aiguille aimantée, et sur plusieurs questions relatives au magnétisme terrestre. Les observations ont été faites deux fois par jour, à 8 heures du matin et à 6 heures du soir, avec une boussole disposée de manière à avoir toujours les mêmes déviations. Il a rapporté toutes ces observations à la même température, afin de les rendre comparables entre elles, et en a déduit ainsi la durée moyenne d'une oscillation horizontale de l'aiguille aimantée à Kasan, depuis octobre 1825 jusqu'à novembre 1826. Suivant cet habile observateur, il est probable que la durée des oscillations augmente ou diminue uniformément de mois en mois.

Ayant pris les moyennes entre les observations du matin et celles du soir, il en a conclu que la durée moyenne d'une oscillation horizontale de l'aiguille aimantée atteint son maximum vers la fin de l'été, au mois de septembre ou d'octobre, et son minimum en hiver, vers le mois de février; que les variations diurnes de cette durée sont plus grandes en été qu'en hiver et que, d'une année à l'autre, cette durée n'a presque point changé à Kasan.

Ces observations s'accordent assez bien avec celles de M. Hansteen, qui n'a pas eu égard à la température, si ce n'est cependant que ce dernier a trouvé une augmentation de la durée des oscillations entre une année et l'autre.

Il a cherché si aux variations de la durée moyenne d'une oscillation correspondaient aussi des variations dans l'intensité du magnétisme terrestre; plusieurs considérations lui ont fait supposer que les premières, dans

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXV, p. 225.

le même endroit, sont dues presque uniquement aux variations de l'inclinaison, et que celles qui sont relatives à l'intensité, y entrent pour peu de chose; il en résulte, ajoute-t-il, que l'inclinaison magnétique de Kasan doit atteindre son maximum en été et son minimum en hiver. Leur plus grande différence est de 2 minutes et demie à peu près et elles ne changent presque pas d'une année à l'autre.

M. Arago ayant trouvé que l'équateur magnétique avait probablement un mouvement de translation de l'est à l'ouest, M. Morlet est parti de là pour expliquer les variations qu'éprouve l'inclinaison de l'aiguille aimantée, d'année en année, dans divers lieux de la terre.

Quant à la déclinaison, on n'a pas de données aussi certaines sur les causes générales de ces variations, quoique nous connaissions leur marche. On sait seulement qu'il existe des lignes où la déclinaison est nulle; nous en avons indiqué le cours dans la seconde période. Nous avons dit aussi qu'il existait une ligne de cette nature dans la partie orientale de la Russie. M. Kupffer en indique la direction. Cette ligne passe à l'ouest de Kasan. Les points qui sont situés à l'ouest ont une déclinaison occidentale, tandis que ceux qui se trouvent à l'est ont une déclinaison orientale. La ligne qui se trouve dans le nord de l'Amérique présente le même phénomène, mais en sens inverse. Il existe encore une ligne sans déclinaison qui passe près d'Irkouztk en Sibérie; mais, ici, en s'avançant vers l'est, la déclinaison redevient occidentale et ne change pas de signe.

M. Kupffer rapporte encore, d'après les observations les plus récentes de MM. Angion et Wrangel sur la côte nord-est de la Sibérie, que toute cette côte a une déclinaison orientale, et que la déclinaison, sur le même parallèle, diminue si régulièrement de l'E. à l'O., qu'il est probable que le point où la déclinaison est nulle, se trouve à peu près sous le méridien d'Irkouztk.

Après avoir rappelé que la ligne sans déclinaison qui se trouve maintenant en Amérique passait autrefois par

Paris et par Londres, et qu'elle a un mouvement progressif vers l'O. très-considérable, il ajoute que la ligne sans déclinaison qui passe près de Kasan présente le même phénomène. En comparant le mouvement progressif des lignes sans déclinaison, avec le mouvement de l'équateur magnétique qui s'exécute dans le même sens, il pense que l'on doit admettre qu'il existe une liaison entre ces deux phénomènes. Suivant lui, la ligne sans déclinaison ne règle pas seulement les déclinaisons des points qui l'avoisinent, mais aussi la grandeur des variations de leurs inclinaisons; car les observations qu'il rapporte tendent à prouver que les variations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée sont très-petites à Kasan, dans un point qui est très-rapproché de la ligne sans déclinaison, tandis qu'elles sont assez considérables à Christiania, d'après les observations de M. Hansteen. Ce ne sont encore là que des hypothèses, que M. Kupffer reconnaît comme telles.

M. Hansteen, dans son travail sur la position des pôles magnétiques, n'admet pas que l'équateur magnétique et les lignes sans déclinaison aient un mouvement progressif vers l'ouest; il leur assigne au contraire un mouvement vers l'est. M. Kupffer ne regarde pas la méthode dont il s'est servi pour déterminer la position des pôles magnétiques, comme étant à l'abri de toute objection, attendu que l'on ne peut faire usage, pour cette détermination, que des observations recueillies très-près des pôles, telles que celles qui nous ont été rapportées par les navigateurs anglais, les premiers qui aient entrepris un voyage dans ces régions. Il fait remarquer que ces observations ne peuvent servir qu'à déterminer la position et non le mouvement du pôle magnétique. M. Kupffer pense qu'il existe un trop grand nombre d'observations qui tendent à prouver que les actions magnétiques de la terre émanent de points très-rapprochés de son centre, pour que l'on puisse adopter des pôles magnétiques très-près des pôles terrestres. Il lui paraît plus naturel de supposer, d'après l'observation de M. Arago,

que toute la masse de la terre est magnétique, et que la terre agit à cet égard, à peu près comme un sphéroïde en fer doux, dont les actions magnétiques semblent également émaner du centre.

M. Kupffer signale des phénomènes magnétiques qui méritent toute l'attention des physiciens. Nous avons déja vu qu'il existe des variations subites et irrégulières, qui sont liées aux apparitions des aurores boréales, et que la cause qui produit ces anomalies s'étend très-loin. M. Kupffer, ayant fait osciller l'aiguille pendant qu'elle s'écartait ainsi de sa position ordinaire, n'a pu remarquer aucune différence sensible entre la durée d'une oscillation dans ce moment, ou dans tout autre. Il en excepte cependant quelques cas où l'écart a été fort considérable; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que lorsque l'aiguille s'écartait vers l'est, la durée d'une oscillation était plus grande qu'à l'ordinaire, tandis que, le 24 novembre 1825, lorsque l'aiguille s'écartait vers l'ouest, elle était plus petite. D'un autre côté, l'inclinaison magnétique étant dans le rapport de la durée des oscillations, les observations précédentes semblent donc prouver que l'inclinaison diminue lorsque l'aiguille s'écarte vers l'ouest, et qu'elle s'accroît lorsqu'elle marche vers l'est.

Les résultats que je viens de rapporter montrent que M. Kupffer s'occupe des questions les plus délicates relatives au magnétisme terrestre.

Nous avons déja vu que, pour expliquer les diverses manifestations de la charge magnétique du globe, on avait été obligé de multiplier les pôles magnétiques; cet inconvénient a fait sentir la nécessité de déterminer avec le plus grand soin tous les éléments numériques, relatifs à la force magnétique en un grand nombre de points de la surface, afin de fournir les moyens aux géomètres de nous débarrasser de cette complication de pôles magnétiques. C'est dans ce but que M. de Humboldt a présenté dans un même cadre toutes les observations relatives à l'inclinaison de l'aiguille aimantée

et au décroissement de l'intensité des forces magnétiques des pôles à l'équateur magnétique, qu'il a faites pendant trente-deux ans (1).

Toutes ces observations sont divisées en trois groupes: le premier renferme le système des inclinaisons et des forces, depuis 1798 jusqu'en 1803, en Espagne, aux îles Canaries, dans l'Océan Atlantique, dans la mer Équinoxiale, au nord et au sud de l'équateur; le second embrasse les observations faites en 1805 et 1806, en France, en Italie, en Suisse et en Allemagne; dans les années 1826-1829, en Allemagne, en Prusse, et dans la Russie européenne, sur les bords de la mer Caspienne et dans le nord de l'Asie, entre l'Oural, l'Altaï, la steppe des Kirghises et les frontières de la Chine.

Les observations du premier groupe ont servi aux calculs d'après lesquels MM. Biot, Hansteen et Morlet ont fixé à différentes époques la position de l'équateur magnétique, et à la découverte, dont nous avons déja parlé, de la loi d'après laquelle l'intensité des forces magnétiques varie à différentes latitudes, de l'équateur aux pôles.

Toutes les observations relatives à l'accroissement de l'intensité, dans les deux hémisphères magnétiques, de l'équateur vers les pôles, et le non parallélisme des lignes isodynamiques avec les lignes d'égale inclinaison, ont été confirmés, dans ces dernières années, par les nombreuses observations faites dans les expéditions anglaises aux régions polaires, dans les voyages autour du monde des navigateurs français, dans les voyages de terre entrepris par MM. Hansteen et Erman dans le nord de l'Asie.

M. de Humboldt avait découvert le nœud de la courbe sans inclinaison, avec la courbe isodynamique, sous le 7me degré de latitude australe et le 81me de lon-

---

(1) Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, 1re partie, relation historique, t. III, p. 615.

gitude à l'ouest du méridien de Paris. Il avait suivi cette dernière à l'ouest de la Cordillère des Andes dans le littoral du Pérou, vers Kasma et Huarmay jusqu'au 10me de latitude australe. M. Adolphe Erman a trouvé en Sibérie, que la ligne, dont l'intensité égale 1,60, se dirige aussi du nord au sud, avec une légère inclinaison au S.-E. Il a vu la ligne isodynamique 1,60 couper presque à angle droit les courbes d'égale inclinaison, puis descendre du N.N-O, vers le S.S-E, d'Obdorsk, près des bouches de l'Oby à Tomsk.

M. de Humboldt pense qu'il est probable que la ligne isodynamique et le nœud péruvien de l'équateur magnétique se sont portés, depuis son voyage, de l'E. à l'O.; ce célèbre voyageur rapporte, à ce sujet, que M. Adolphe Erman a observé, à son retour de Kamtschatka à Rio-Janeiro, par le 135me degré de longitude occidentale de Paris, dans la mer du Sud, sur l'équateur magnétique, que l'intensité des forces magnétiques s'est trouvée sensiblement telle que, vingt-six ans plus tôt, il l'avait trouvée sur l'équateur magnétique au Pérou.

L'intensité des forces magnétiques n'étant pas une fonction de l'inclinaison, et les lignes isodynamiques n'étant pas non plus parallèles aux lignes d'égale inclinaison, il est naturel que les points de l'équateur n'aient pas la même intensité. Aussi M. de Humboldt observe-t-il que celles de Londres, de Paris, ou de Berlin, ne peuvent offrir les mêmes éléments numériques, si on prend pour unité l'intensité des forces sur l'équateur magnétique au Pérou, sur les côtes occidentales d'Afrique, ou dans l'archipel des grandes Indes. « Les lignes isothermes, comme je l'ai démontré, dit-il, dans « plusieurs mémoires, deviennent sensiblement parallèles à l'équateur à mesure que l'on s'éloigne des tropiques; mais il n'en est pas ainsi des lignes isodynamiques de M. Hansteen, qui coupent quelquefois, par « exemple, au Pérou, l'équateur magnétique à angle droit. « Ayant transporté les mêmes aiguilles, ou des aiguilles « comparées entre elles, de Paris au Mexique, à l'équateur

« magnétique dans le Pérou, à Berlin, à Pétersbourg, « sur les bords de la mer Caspienne et dans le nord de « l'Asie, j'ai exprimé ces forces dans les différents lieux « de la terre, en prenant pour unité l'intensité que j'a- « vais trouvée sur l'équateur magnétique au Pérou ou « plutôt sur le point d'intersection de cet équateur avec « la ligne isodynamique du minimum des oscillations. « Dans cette supposition, je trouve pour Paris 1,3482; « pour Milan 1,3121; pour Naples 1,2745. Les obser- « vations très-précises de M. de Rossel, à Surabaya, « dans l'île de Java, et celles du capitaine Sabine, près « de l'île St.-Thomas, 5 au nord de l'équateur, indiquent « que l'intensité des forces est moindre sur l'équateur « magnétique près des côtes occidentales de l'Afrique « (longit. 40° 24′ O.) et dans l'archipel des grandes Indes, « que dans la portion de l'équateur magnétique qui tra- « verse le Pérou. De même, M. Adolphe Erman a observé « que, sur les côtes orientales de l'Amérique du Sud, les « forces magnétiques sont beaucoup plus faibles, à égale « distance du pôle austral terrestre, que sur les côtes oc- « cidentales. L'intensité 1, trouvée à l'ouest du nouveau « continent sur l'équateur magnétique, dans la mer du « Sud, par 135° de longit. occid. et 1° 55′ de lat. aust., « se manifeste sur les côtes du Brésil, déja vers les 38° de « lat. aust., tandis que l'inclinaison y est encore de plus « de 37° S. Il me paraît toujours plus probable que le « minimum de l'intensité des forces magnétiques, à la « surface du globe, comparé au maximum, n'est pas dans « le rapport de 1 à 2, mais bien au-delà de 1 à 2, 6. »

M. de Humboldt, dans les observations relatives à l'intensité, n'a pas fait les corrections nécessitées par les variations de température; mais ces variations ont été trop peu considérables pour influer d'une manière sensible sur le nombre d'oscillations qui expriment l'intensité des forces.

En comparant les observations d'intensité magnétique qu'il a faites dans diverses localités, il croit avoir reconnu un décroissement de la force à mesure que la hauteur

augmente. M. Kupffer a tiré une conséquence semblable des observations du Caucase. MM. Gay-Lussac et Biot, dans leur voyage aérostatique, n'avaient trouvé qu'un décroissement presque insensible.

Dans le deuxième groupe d'observations, M. de Humboldt a réuni toutes celles qu'il a faites avec M. Gay-Lussac, du 15 mars 1805 au 1er mai 1806. Depuis, il a eu occasion de faire de nouvelles observations dans les mêmes lieux, avec une plus grande précision, ce qui l'a mis à même de déterminer les changements annuels d'inclinaison causés par le mouvement du nœud et modifiés par la forme de la courbe qui représente l'équateur magnétique. Il a rendu compte de ces changements dans un Mémoire communiqué à l'Académie de Berlin, le 2 avril 1829. Les observations de 1798 et de 1810, pour Paris, lui ont donné 5′ de diminution annuelle d'inclinaison magnétique; celles de 1820 et 1825, 3′, 3. Ce ralentissement avait déja été remarqué par M. Arago, qui l'a consigné dans l'Annuaire du Bureau des longitudes pour 1825. En comparant les observations de M. Arago, il a trouvé de 1805 à 1826, pour Turin, une diminution de 3′ 5; pour Florence, de 3, 3, etc.

Le troisième groupe renferme vingt-sept observations d'Europe et d'Asie, faites avec des boussoles de Gambey, et en se tenant éloigné de la demeure des hommes, car cette dernière précaution est indispensable quand on veut déterminer l'intensité des forces magnétiques. Il s'est servi, à cet effet, dans son dernier voyage, d'une tente dont les anneaux métalliques étaient en cuivre rouge. Le temps ne lui a pas permis, depuis son retour de Russie, de déterminer les corrections nécessaires pour la publication des observations d'intensité.

M. de Humboldt a présenté à l'Académie des sciences (1) le résultat de ses observations sur l'inclinaison de l'aiguille aimantée dans le Nord de l'Asie et y a joint

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIV, p. 231.

celles qui sont relatives aux variations horaires, faites en différents points du globe.

Dans son voyage de Saint-Pétersbourg à Tobolsk et au désert de Baraba, il a eū occasion d'expérimenter sur plusieurs points que MM. Hansteen et Erman avaient visités avant lui et avec les mêmes instruments dont ils s'étaient servis. Il résulte de ce concours d'observations, que l'on connaît maintenant l'état magnétique du globe dans la majeure partie de l'Asie boréale. Je rapporterai textuellement ici les réflexions de M. de Humboldt sur les phénomènes magnétiques du globe, dans la crainte d'en affaiblir le mérite, en me bornant à en donner un extrait.

« Les phénomènes magnétiques du globe ne dépendent « point dans leurs grands rapports, pas plus que la dis« tribution climatérique de la chaleur, les changements « mensuels et horaires de la pression de l'atmosphère, « la direction et la fréquence des pluies, de simples in« fluences de localités. Ce sont de grands phénomènes « qui embrassent le globe entier, sur lesquels influent « la forme des continents, la chaleur intérieure de la « terre, etc. Le mouvement progressif des nœuds (les « points d'intersection de l'équateur magnétique et de « l'équateur terrestre), dirigé de l'est à l'ouest, a été « découvert par M. Morlet et développé par M. Arago, « d'après les observations de Cook et de Duperrey, de « Vancouvert et de Freycinet. Il se manifeste dans les « deux hémisphères. Le changement de latitude magné« tique, qui est le résultat de ce mouvement de transla« tion, fait varier en même temps l'inclinaison. Le long « espace de temps écoulé depuis mes premières obser« vations magnétiques faites avec un instrument de « Le Noir qui avait été exécuté d'après les idées de Borda, « et qui par conséquent était entièrement semblable aux « instruments de M. Gambey, m'a permis de détermi« ner les changements annuels d'inclinaison (à des épo« ques données) avec une précision de quelques fractions « de minutes. Ici, comme dans les recherches astrono-

« miques, la précision augmente avec le nombre des « années écoulées. Cette diminution d'inclinaison causée « par le mouvement des nœuds et modifiée par la forme « de la courbe qui représente l'équateur magnétique, a « été l'objet d'un mémoire lu à l'Académie de Berlin, le « 2 avril 1829 (1). »

M. de Humboldt rapporte qu'aussitôt son retour dans sa patrie, il a fait construire, dans un jardin très-spacieux de Berlin, une petite maison entièrement dépourvue de fer, dans le but de s'y livrer à des observations régulières de variations horaires de la déclinaison magnétique. Ces observations ont commencé le 5 février 1829 et ont été suivies deux ou trois fois par jour jusqu'au 20 mars; puis elles ont été reprises en automne par M. Dove, afin d'observer d'heure en heure, plusieurs jours et plusieurs nuits de suite, tandis que des observations correspondantes étaient également faites, avec un instrument semblable, en différents lieux de la terre. En 1806 et 1807, il s'était déja exercé à ce travail pénible, conjointement avec M. Oltamanns. Ayant observé pendant plusieurs jours et autant de nuits de suite, vers l'époque des équinoxes et des solstices, d'heure en heure et même de demi-heure en demi-heure, ils reconnurent alors des minima nocturnes ainsi que des affolements singuliers ou orages magnétiques qui reviennent dans les hautes latitudes, quelquefois plusieurs nuits de suite aux mêmes heures. Ce travail, qui a été exécuté en 1807, lui a fourni 1500 résultats tirés de plus de 6000 observations partielles. Les tableaux de ces résultats ont été déposés dans les archives de l'Observatoire de Berlin.

M. de Humboldt qui sent toute l'importance d'observations magnétiques simultanées, faites sur différents points du globe, pour la solution d'une des plus grandes questions de la physique générale, s'est occupé de faire élever des observatoires dans tous les lieux de la

(1) Journ. de Poggendorf, t. xv, p. 319.

terre où il se trouve des savants avec lesquels il est en relation. Voici comment il s'exprime à cet égard, après avoir parlé du grand travail auquel M. Arago se livre sur les phénomènes magnétiques terrestres.

« Je n'ai fait qu'accomplir les vœux de M. Arago, en « profitant de mes loisirs et de mes voyages pour établir « un cours d'observations simultanées d'heure en heure, « de jour et de nuit, pendant 38 heures consécutives. « J'ai obtenu qu'une boussole de Gambey fût placée dans « l'intérieur des mines de Freyberg, où l'extrême égalité « de température facilite les observations de M. Reich « sur les changements réguliers et irréguliers que semble « éprouver l'intensité des forces, et à sa prière, l'Aca- « démie impériale de Saint-Pétersbourg et le curateur « de l'Université de Kazan ont fait construire des pa- « villons magnétiques. M. Kupffer, auquel le magné- « tisme doit d'importants travaux, observe à Saint-Pé- « tersbourg et M. Simonoff à Kazan. Le premier me « mande que des démarches ont été faites pour établir « un instrument de Gambey à Moscou et qu'il y a de « l'espoir d'étendre notre ligne d'observations correspon- « dantes jusqu'à Sitka, où résidera, sur la côte nord-ouest « de l'Amérique, le baron de Wrungel, célèbre par son « expédition des mers polaires; à Pékin, dans la maison « des missionnaires russes; à Archangel, où M. Reiveni, « officier de la marine, s'est rendu pour lever une carte « de la mer Blanche. Nous recevons déja des observations « de Nicolajeff en Crimée, où l'amiral Greigh, cédant « à l'invitation de l'Académie impériale de Saint-Péters- « bourg, a ordonné l'établissement d'un pavillon destiné « aux observations des variations horaires. A Berlin, « M. Encke veut bien se charger de ce travail pendant « mes fréquentes absences de la capitale : il est secondé « par le zèle de MM. Poggendorf, Dirichlet, Dove et « Magnus. En Amérique, M. Boussingault, qui ne né- « glige rien de ce qui peut avancer les différentes par- « ties de la physique du globe, observe avec assiduité la « boussole de Gambey, à Marmato, sur la pente orien-

« tale de la Cordillère de Chaco, dans la province d'An-« tioquia, par 5° 27° de latitude boréale. Je l'ai engagé à con-« courir avec nous aux mêmes époques. De Kazan à Mar-« mato, où sont placées les deux boussoles de Gambey, il y a « plus de 125° de longitude. Je m'empresse de faire « hommage à l'Académie, parmi les pièces annexées à ce « Mémoire, des tableaux d'observations magnétiques cor-« respondantes de Berlin, Freyberg (seul observatoire « souterrain), Pétersbourg, Kazan, Nicolajeff, Marmato « dans l'Amérique méridionale, depuis le 2 novembre 1828 « jusqu'au 5 mai 1830, à huit époques convenues. J'ose « me flatter que ce travail, tout en prouvant l'utilité de « ce genre d'observations correspondantes à de grandes « distances, offrira quelque intérêt en le comparant aux « observations faites à l'Observatoire de Paris. Il serait « surtout à désirer d'avoir des établissements magnéti-« ques stables à la Nouvelle-Hollande, au cap de Bonne-« Espérance, à l'île Bourbon et au Pérou, sur diffé-« rents points de l'hémisphère austral. Ce serait avancer « la théorie du magnétisme que de travailler à étendre « la ligne des observations correspondantes et de réunir « partout, aux observations des variations horaires, la « détermination précise de la déclinaison absolue et de « l'inclinaison de l'aiguille, de l'intensité des forces, etc. « Ces données ne peuvent acquérir une grande impor-« tance que par des établissements stables, où l'on ré-« pète la recherche des éléments numériques à des « époques fixes et à l'aide des mêmes instruments. Les « voyageurs qui traversent un pays dans une seule di-« rection et à une seule époque, ne peuvent que pré-« parer un travail que réclame le tracé complet des « lignes sans déclinaison, à des époques également es-« pacées. Heureux si les faibles essais des voyageurs dont « je suis appelé à plaider la cause, contribuent à don-« ner de l'impulsion à un genre de recherches qui a tant « d'intérêt pour les progrès de l'art nautique, et qui « conduira un jour à mieux connaître la constitution de « l'intérieur du globe à différentes latitudes! »

Certes, il est impossible de concevoir un plan d'observations sur de plus vastes bases. Aussi M. de Humboldt mérite-t-il la reconnaissance de tout le monde savant pour avoir employé sa grande influence scientifique pour le mettre à exécution.

M. le capitaine Duperrey (1), en discutant les observations magnétiques faites à bord de la corvette *la Coquille*, en a déduit la configuration de l'équateur magnétique qu'il a coupé six fois. Il a prolongé cette courbe tant au nord qu'au sud dans des intervalles en longitude assez considérables. Ce navigateur s'est donc trouvé en position de faire le tracé de la ligne sans inclinaison avec une certaine exactitude.

Il n'a employé pour la détermination de l'équateur magnétique que les inclinaisons qui ne dépassaient pas 30°, attendu que la loi dont il a fait usage, et qui établit que la tangente de la latitude magnétique est égale à la moitié de la tangente de l'inclinaison, ne paraît être applicable que lorsque les inclinaisons ne dépassent pas cette limite. Ayant obtenu les latitudes magnétiques des points où les observations ont été faites, il a déduit, et de celles-ci et de la déclinaison de l'aiguille observée dans les mêmes lieux, les changements en longitude et en latitude qui, étant combinés avec la position géographique des stations, lui ont donné les coordonnées des points correspondants de l'équateur magnétique. Il a tracé, au moyen de cette méthode, en s'appuyant uniquement sur ses propres observations, la portion de cet équateur dans une étendue de 247° en longitude, laquelle comprend l'Océan Atlantique, une partie du continent de l'Amérique méridionale, le grand Océan Équinoxial et l'archipel d'Asie jusqu'au méridien de la partie occidentale de l'île de Bornéo.

M. le capitaine Duperrey s'est occupé aussi de prolonger vers l'orient la portion de la ligne sans inclinai-

(1) Annal. de Phys. et de Ch., t. XLV, p. 371.

son déduite de ses observations, en profitant de celles que le capitaine Edward Sabine a faites en 1822, dans l'île Santomé, golfe de Guinée; quant au prolongement compris entre le méridien de la partie orientale de Bornéo et la pointe nord de Ceylan, il est le résultat des observations faites dans la campagne de la corvette *la Chevrette*, en 1827, par M. Jules de Blosseville. Le capitaine Sabine a déterminé la position de l'un des deux nœuds de l'équateur magnétique qui se trouve par 3°,20' à l'orient du méridien de Paris. M. Duperrey montre qu'à partir de ce nœud, la ligne sans inclinaison remonte au nord en traversant le continent de l'Afrique, atteint probablement le 15e degré de latitude boréale dans la mer Rouge, à en juger du moins par une observation faite par Panton dans l'île Socotora en 1776, et redescend ensuite un peu au sud, pour venir rejoindre le point que M. de Blosseville a déterminé sur la pointe nord de Ceylan. Il paraîtrait d'après cela, *que l'équateur magnétique ne rencontrerait la ligne équinoxiale que dans deux points qui seraient presque diamétralement opposés, et situés, l'un dans l'Océan Atlantique, l'autre dans le grand Océan, à peu près dans le plan du méridien de Paris, et que là où cet équateur ne rencontrerait que quelques îles éparses, il ne s'éloignerait que bien peu de la ligne équinoxiale; qu'il s'en écarterait davantage lorsque les îles se multiplient, et ne parviendrait à son maximum d'excursion, soit au nord, soit au sud, que dans les deux grands continents qu'il traverse; qu'enfin il existerait entre les sections australe et boréale de cette courbe singulière une symétrie remarquable et beaucoup plus parfaite qu'on ne l'avait d'abord supposé.*

M. Duperrey a présenté à l'Académie des sciences, dans la séance du 23 décembre 1833, un Mémoire ayant pour titre : *Considérations sur le magnétisme de la terre.* Il est parti du principe que la température, qui exerce une influence sur le nombre d'oscillations qu'une ai-

guille aimantée exécute dans un temps donné, doit faire varier aussi l'action du magnétisme terrestre.

M. Hansteen, en réunissant toutes les observations d'intensité magnétique faites depuis 1790 jusqu'en 1830, a tracé sur une carte les lignes d'égale intensité magnétique ou isodynamique, au moyen desquelles il a cru reconnaître la présence de deux pôles magnétiques dans chaque hémisphère, mais avec cette différence que l'intensité magnétique totale est plus petite dans l'hémisphère austral que dans l'autre hémisphère. M. Kupffer, comme je l'ai dit précédemment, n'admet pas les conséquences déduites du travail de M. Hansteen. M. Duperrey partage cette opinion, mais il a cherché à compléter le travail de ce dernier. Il s'est attaché, en conséquence, à déterminer l'état actuel de l'action magnétique à la surface du globe ainsi que la cause de ces variations en direction et en intensité, en s'appuyant sur ses propres observations et sur celles de MM. de Rossel, de Humboldt, Sabine, Hansteen, Keilhau et Boeck, Lütké, King, Due, Erman et Kupffer. Il est parvenu ainsi à construire neuf courbes isodynamiques au nord et au sud de l'équateur magnétique, lesquelles diffèrent très-peu de celles qui ont été tracées par M. Hansteen, dans l'hémisphère boréal au-delà du tropique du cancer.

Il a considéré l'équateur magnétique comme formé de la réunion de tous les points des différents méridiens terrestres où l'intensité magnétique est réduite à son minimum. En discutant les observations, il a reconnu que ces points étaient précisément ceux qui étaient les plus chauds de chaque méridien. Ainsi donc, suivant lui, la courbe qu'il regarde comme l'équateur magnétique, serait à la fois la ligne des plus grandes températures et des moindres intensités magnétiques de chaque méridien. La position de chaque pôle magnétique, suivant la théorie adoptée par M. Duperrey, se trouve dépendante des lignes isodynamiques propres à chaque hémisphère et ne peut être déterminée que par le calcul. Il n'a représenté seulement sur ses cartes que les espaces

bornés par les lignes dynamiques de très-forte intensité qui doivent contenir les pôles magnétiques. Dans la supposition où il existe deux pôles magnétiques très-rapprochés du centre, M. Biot a donné, comme nous l'avons déja vu, la loi de l'accroissement de l'intensité magnétique de l'équateur au pôle. La formule qui représente cette loi, admettant que la terre est parfaitement homogène et ne pouvant être vérifiée par des observations isolées, M. Duperrey a été obligé, pour ramener toutes les observations à cet état, de prendre l'intensité moyenne de l'équateur terrestre et de chacun des parallèles du globe, puis de multiplier la circonférence de chaque courbe par son intensité, afin d'avoir l'intensité totale et de prendre ensuite la moyenne des intensités totales des parallèles correspondants dans chaque hémisphère; il a obtenu ainsi tous les points de la courbe qui représente la loi de l'accroissement des forces magnétiques, d'après l'observation. Cette courbe, tracée à côté de celle qui résulte de la formule de M. Biot, ne s'en écarte que d'environ 0,015 d'intensité, en supposant l'unité sur l'équateur magnétique au Pérou. Il a trouvé en outre que la surface de l'hémisphère magnétique nord est à la surface de l'hémisphère magnétique sud dans le rapport de 1,000 à 1,0152, rapport qui est le même que celui de l'intensité totale de l'hémisphère terrestre austral à l'intensité totale de l'hémisphère terrestre boréal; d'où il conclut que les surfaces des deux hémisphères magnétiques sont proportionnelles aux intensités totales des deux hémisphères terrestres.

M. Duperrey attribue en grande partie la différence dans les intensités relatives du magnétisme de chaque lieu, à la différence de température de ces lieux. Il assure qu'en comparant les lignes isothermes et les lignes isodynamiques, il a rencontré une analogie remarquable dans leurs courbures, entre autres dans la direction de leurs concavités et de leurs convexités. Il cite encore en faveur de sa théorie le mouvement diurne de l'aiguille aimantée. Lorsque le soleil se lève, dit-il, il vient échauffer suc-

cessivement tous les points de l'horizon à l'orient du lieu des observations; l'intensité magnétique diminue à mesure que la chaleur augmente; il en résulte que la ligne isodynamique qui passe par la station, se renfle en s'éloignant de l'équateur et s'élève vers le nord ou vers le sud, suivant que la station est dans l'hémisphère magnétique boréal ou dans l'hémisphère magnétique austral. L'aiguille aimantée, qui lui est toujours perpendiculaire, suit le mouvement, et la pointe nord s'avance pour les stations boréales vers l'ouest, et vers l'est pour les stations australes. Lorsque le soleil a dépassé le méridien, l'horizon se refroidit à l'orient et s'échauffe à l'occident. La ligne isodynamique se déplace de nouveau, reprend sa position primitive, et la dépasse en sens inverse: l'aiguille, en suivant ce mouvement, dirige sa pointe nord pour les stations boréales, vers l'est, et pour les stations australes, vers l'ouest. Lorsque la station est sur l'équateur magnétique ou à peu de distance, la pointe nord de l'aiguille s'avance tous les matins vers l'ouest ou vers l'est, suivant que le soleil passe au nord ou au sud de la station; et ce phénomène se rattache encore au même principe; car la condition de l'équateur magnétique étant d'être la ligne des plus petites intensités dans chaque méridien, il doit nécessairement se déplacer tous les jours en s'élevant obliquement vers le parallèle que décrit le soleil. M. Duperrey a cherché à appuyer sa théorie de tous les faits que l'expérience a fournis jusqu'ici, et en a déduit que l'hémisphère terrestre sud est plus froid d'environ un degré que l'hémisphère nord.

M. Quetelet a communiqué à l'Académie royale des sciences et belles-lettres de Bruxelles, dans sa séance du 12 octobre 1833, le résultat de ses observations sur l'intensité relative du magnétisme terrestre à Bruxelles, à Paris et à Londres. Ces observations ont été faites à des températures à peu près les mêmes, afin d'éviter les erreurs qui auraient été attribuées à des différences de température. Il a soumis successivement à l'expérience

deux aiguilles cylindriques et un petit barreau de forme parallélipipédique et a trouvé en comparant ses observations à celles du capitaine Sabine, de M. Rudberg et d'autres physiciens, que tout porte à croire que l'intensité horizontale du magnétisme s'est accrue d'une petite quantité pendant les années de 1828 à 1833.

M. Necker de Saussure (1), en comparant les courbes d'égale intensité magnétique avec celles de la stratification des grandes chaînes, a reconnu une coïncidence remarquable entre les unes et les autres. Ce rapport est d'un grand intérêt pour la physique du globe.

M. Morlet a présenté à l'Académie des sciences, le 20 janvier 1834, des recherches sur la loi du magnétisme terrestre, dont je vais essayer de donner une idée. M. Poisson a établi, comme on sait, une théorie rigoureuse du magnétisme, en partant des principes de Coulomb. Il a été conduit à ce résultat que, lorsque deux fluides magnétiques sont assujétis à rester dans l'intérieur de molécules sphériques et à se mettre en équilibre avec des forces qui émanent de centres fixes et qui agissent en raison inverse du carré des distances, l'action d'un corps homogène de forme quelconque peut toujours se transformer en celle d'une couche de fluide libre d'une très-petite épaisseur qui recouvrirait la surface des corps dans toute son étendue. Ce principe, quand on l'applique à l'action d'une sphère ou d'un sphéroïde aimanté, conduit à des résultats qui s'accordent avec ceux que la discussion des observations de l'inclinaison en différents points du globe a fait découvrir. Il suit de là que l'on ne doit pas rejeter l'ancienne hypothèse de Gilbert qui a été adoptée par M. Biot, laquelle consiste à considérer le sphéroïde terrestre comme un aimant dont l'action a pour effet la direction de l'aiguille aimantée.

M. Morlet s'est proposé de soumettre de nouveau

---

(1) Bibl. univ., t. XLIII, p. 166.

cette hypothèse à un examen rigoureux, pour savoir si elle peut rendre compte de tous les phénomènes observés. S'appuyant sur la théorie de M. Poisson, il a été obligé de représenter les principaux résultats obtenus par ce célèbre géomètre sous une forme qui permît de les généraliser et de les rendre indépendants de toute hypothèse sur la figure des molécules et sur la manière dont le magnétisme se développe dans leur intérieur.

Il a déterminé d'abord l'équation de l'équateur magnétique. Il commence par dire qu'une courbe à double courbure placée sur la surface d'une sphère, ne peut avoir en général qu'un nombre limité de points respectivement placés aux deux extrémités d'un diamètre. Ces points sont dits points *antipodes*. Après avoir rappelé la situation de l'équateur magnétique déduit des observations, il ajoute que si l'on représente par A le point antipode de la mer des Indes, par B celui du Pérou, A′ le point antipode africain et B′ celui du grand Océan, et faisant passer une circonférence de cercle par ces quatre points, et traçant ce cercle sur la carte de l'équateur magnétique, on trouve que cet équateur après l'avoir coupé en A′, se trouve toujours au nord du cercle dans toute la partie de son cours depuis A′ jusqu'en A; parvenu en A, il le rencontre une seconde fois; mais au lieu de le couper pour se porter ensuite au sud, il s'infléchit et semble se confondre avec lui sur une étendue de plusieurs degrés de longitude; il se relève ensuite plus à l'est. Cette configuration de l'équateur magnétique exige qu'il y ait un deuxième point d'intersection peu éloigné de A; et comme deux courbes fermées ne peuvent se couper qu'en un nombre pair de points, il faut qu'il y ait un sixième point d'intersection, ce qui indique que dans la partie occidentale du grand Océan, il y a un sixième point peu éloigné de B. Il conclut de là que cette courbe ne peut être représentée que par l'intersection de la sphère terrestre et d'une surface qui est au moins du troisième degré. C'est en partant de là qu'il a déterminé ce qu'on appelle la courbe calculée. Après en

avoir suivi toutes les inflexions, il les a comparées à celles de l'équateur magnétique observé et a trouvé qu'elles sont les mêmes. Seulement, l'équateur magnétique observé subit deux ou trois autres inflexions dont le calcul n'a pas encore pu rendre compte.

EXPOSÉ

DES PHÉNOMÈNES

QUI ONT DES RAPPORTS PLUS OU MOINS DIRECTS AVEC L'ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA PHOSPHORESCENCE.

Je viens de passer en revue les principaux faits dont se composent aujourd'hui l'électricité et le magnétisme, il me reste à exposer succinctement les phénomènes qui ont des rapports plus ou moins directs avec ces deux branches de la physique. On est assez disposé à y rattacher tous ceux qui sont produits quand les molécules des corps éprouvent un dérangement quelconque dans leur position naturelle d'équilibre, attendu que, dans les mêmes circonstances, il y a également trouble dans l'équilibre des forces électriques; néanmoins il faut opérer ce rapprochement avec circonspection et se mettre en garde contre des inductions trop hasardées, car si le fluide électrique est souvent un moyen puissant d'action, il est souvent aussi l'effet d'une action. Au surplus, nous ne pouvons faire dépendre tous les phénomènes, de quelque nature qu'ils soient, d'un principe général, car le système de la nature dépend de plusieurs principes sur le rapport desquels nous n'avons que peu de notions. Si j'opère quelquefois un rapprochement entre des phé-

nomènes, c'est dans le but d'établir des rapports entre des faits qui me paraissent dépendre d'une même cause. J'en use néanmoins avec discrétion et n'attache pas à ce rapprochement plus d'importance qu'il ne mérite; je le considère seulement, faute de mieux, comme un moyen de classer les faits.

J'ai rapproché la phosphorescence de l'électricité, parce que toutes les observations tendent à prouver qu'elle a une origine électrique.

On a remarqué depuis long-temps que la lueur plus ou moins faible que répandent spontanément certains corps, avait une ressemblance frappante avec celle que dégagent les corps mauvais conducteurs, quand on les frotte; mais on n'avait pas encore cherché à expliquer comment la lumière phosphorique résulte des phénomènes électriques produits dans les circonstances de son émission. Les anciens physiciens ne considéraient le dégagement de l'électricité que comme un fait isolé, ne se rattachant que faiblement à l'état moléculaire des corps, et ne pouvant nous initier dans les phénomènes qui ont lieu quand ils éprouvent un trouble quelconque. Depuis Volta, les découvertes qui ont successivement enrichi la science, ont permis d'étudier le dégagement de l'électricité d'une manière plus philosophique. L'on a essayé particulièrement de rattacher ce phénomène aux actions chimiques et moléculaires. Il est bien démontré maintenant que le dégagement du fluide électrique a lieu toutes les fois que les molécules des corps éprouvent un dérangement quelconque, soit dans leur constitution, soit dans leur groupement, ou bien lorsque cet agent qui se trouve placé entre elles, et sur la nature duquel nous n'avons aucune notion, est mis en mouvement par des courants électriques ou des aimants.

Ce dégagement étant toujours accompagné d'une recomposition des deux fluides, qui peut produire, selon la nature des corps et la tension de l'électricité, de la lumière et de la chaleur, même lorsque les molécules ne sont pas séparées, il résulte de là que, lorsqu'elles sont

ébranlées ou séparées par la percussion, la chaleur, l'action chimique ou le choc électrique, il peut y avoir émission de lumière; mais comme ce sont précisement les cas où il y a production de phosphorescence, j'ai pensé que l'on pouvait partir de là pour établir leur identité, avec d'autant plus de probabilité, que les apparences lumineuses sont sensiblement les mêmes (1). Je vais exposer succinctement l'état de nos connaissances sur la phosphorescence.

Benvenuto Cellini, dans un ouvrage sur la bijouterie (2), publié au commencement du XVIe siècle, fait déja mention d'une escarboucle qui brillait dans l'obscurité, et d'une pierre colorée de la même espèce qui fut trouvée dans les environs de Rome, au milieu de la nuit, en raison de la lumière qu'elle répandait. Pendant long-temps, le sulfure de barium était un des corps dans lequel la phosphorescence était le plus marquée. Ce sulfure était préparé avec une variété de baryte sulfatée, appelée pierre de Bologne. Un nommé Caracciolo, qui soupçonnait d'après la pesanteur spécifique de cette substance, qu'elle contenait de l'argent, la soumit à l'épreuve du feu; mais, au lieu du brillant métallique qu'il cherchait, il n'obtint qu'une lueur rougeâtre que la pierre, calcinée avec de la gomme ou une matière mucilagineuse, répandait dans l'obscurité, après avoir été exposée à la lumière.

Boyle, en 1663, observa qu'un diamant émettait de la lumière, après avoir été soumis à l'influence de la chaleur, du frottement, ou d'une simple pression.

En 1675, Baldwin découvrit la même propriété dans le nitrate de chaux privé d'eau. Humbert (3) reconnut plus tard des propriétés semblables dans le muriate de chaux fondu.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLVI, p. 265 et 337; t. XLVIII, p. 337.

(2) Due Trattati dell' orificeria.

(3) Mémoire de l'Acad. des Sc., t. II. p. 182.

C'est à cette époque que fut faite la découverte du phosphore proprement dit, connu sous le nom de phosphore de Kunkel. Cette découverte produisit un étonnement général dans toute l'Europe, et de là datent les recherches nombreuses qui ont été faites sur la phosphorescence.

Dufay découvrit la phosphorescence dans les coquilles d'huître, les concrétions calcaires, le sulfate de chaux, etc., après qu'on les eut exposés à une température rouge. Beccaria (1) trouva que toutes les substances végétales et animales bien desséchées pouvaient absorber la lumière. Pour observer cette propriété, il se plaçait dans une loge portative, qui se fermait de manière à ne laisser aucun accès à la lumière du dehors, et à l'un des côtés de laquelle était pratiqué un tour semblable à ceux des couvents. Il pouvait donc ainsi rester dans l'obscurité, tandis qu'il exposait à la lumière les substances sur lesquelles il opérait. Canton fit connaître un composé qui jouit de la phosphorescence à un haut degré; il est formé de trois parties de poudre fine de coquilles d'huître et d'une partie de soufre, le tout comprimé dans un creuset et exposé à une température rouge pendant une heure. Il suffit d'exposer ce composé pendant quelques minutes à la lumière, pour le rendre très-lumineux. Au bout de quelque temps, il perd sa propriété phosphorique.

Wedgeswood (2) a trouvé que l'on peut communiquer à un grand nombre de corps la propriété lumineuse par la chaleur ou le frottement. Il a reconnu aussi cette propriété dans des oxides nouvellement précipités de leur dissolution. La méthode qu'il a employée consiste à mettre des corps réduits en poudre sur une plaque de fer chauffée jusqu'au degré qui précède le rouge

---

(1) Jacobi Beccariæ Commentarii duo, de phosphoris naturalibus et artificialibus. 1768, t. II, p. 136.

(2) Philos. Transac., t. LXXXII, p. 28.

visible, et à porter le tout dans un endroit obscur.

Pallas fit connaître une variété de spath fluor de Catherinebourg, qui devient lumineuse à la température de la main, lorsqu'on l'y retient pendant quelques instants.

M. Dessaignes (1) a fait une suite de recherches intéressantes sur la phosphorescence, qui ont été couronnées par l'Académie des sciences. Il s'est proposé d'abord de déterminer l'influence conductrice ou indéférente des corps pour le fluide de la phosphorescence.

Il passa en revue les différents modes de rendre les corps phosphorescents, et posa en principe que tous les corps capables de devenir phosphorescents, acquièrent cette propriété quand ils sont jetés en poudre sur un support chaud, quelle que soit la nature de ce support; mais la température à laquelle ils commencent à devenir lumineux n'est pas la même pour tous.

Les bases alcalines et terreuses conservent la propriété phosphorique à quelque degré de chaleur qu'on les expose, tandis que les carbonates de ces mêmes bases calcinées à une chaleur modérée la perdent pour la reprendre quand cette chaleur est suffisante pour les décomposer.

La phosphorescence par la chaleur se produit sur les substances minérales, quelle que soit la nature des gaz au milieu desquels on opère.

Il traite de l'influence de l'eau de cristallisation sur la phosphorescence, par l'élévation de température. Suivant lui, tous les cristaux de carbonate de chaux limpides, et exempts de matières métalliques, sont lumineux en masse, et ténébreux en poudre, quand on les projette sur un support rouge, tandis que les variétés de cette même substance qui décrépitent beaucoup au feu, ne sont phosphorescentes d'aucune manière. La chaux fluatée limpide ne commence à luire sur le support, lors-

(1) Journ. de Phys., t. LXXXIX, p. 170.

qu'elle est en masse, qu'au bout de 40 à 50 minutes. La même substance réduite en poudre fine, et jetée sur un charbon ardent, y reste obscure.

Quand les cristaux sont colorés par une substance métallique, le fluide de la phosphorescence est mis en ébranlement par la première impression des charbons ardents, avant que l'eau ait pu changer d'état, et lui préparer de nouveaux liens. Dans les cristaux limpides, au contraire, le fluide, se trouvant plus fortement retenu, a besoin, pour paraître, de ce même degré de température qui fluidifie une portion de l'eau solidifiée lorsqu'ils sont réduits en poudre. La propriété phosphorique ne se manifeste pas alors, parce que le fluide est absorbé par l'eau qui le gazifie, pour ainsi dire, autour de chaque molécule. Il prouve par-là pourquoi les cristaux limpides retiennent avec plus de force le fluide lumineux que les cristaux colorés.

Il a remarqué que la lumière est toujours bleue lorsque la phosphorescence s'opère péniblement, et d'une teinte jaune, plus ou moins vive, lorsqu'elle s'opère avec facilité.

Les oxides métalliques font naître ou disparaître la propriété phosphorique dans les carbonates calcaires, suivant qu'ils y sont en plus ou moins grande proportion. Aussi, ajoute-t-il, ces effets ne peuvent-ils provenir que de la propriété conductrice.

Voici les preuves directes qu'il donne de l'influence conductrice de l'eau interposée et des matières métalliques sur le fluide de la phosphorescence.

Aucune dissolution saline, saturée ou non saturée, n'est lumineuse au soleil. La craie délayée dans l'eau, et tenue en suspension dans ce liquide, continue cependant à y briller; il en est de même de la chaux nouvellement éteinte, car, au bout de quelque temps, quand elle est saturée d'eau, elle devient insensible à toute impression lumineuse.

Le nitrate et le muriate de chaux, convenablement desséchés, ainsi que la potasse et la soude caustique, etc.,

sont très-lumineux par insolation et deviennent inphosphorescents après avoir absorbé de l'eau hygrométrique.

La chaux, la baryte, la strontiane, l'alumine et la silice ne brillent pas au soleil; la magnésie seule fait exception. Les sels neutres alcalins, qui, dans leur état de cristallisation, sont naturellement phosphorescents, perdent tous cette propriété quand on les transforme en une substance demi vitreuse. Il conclut de ces expériences, que l'eau interposée est un élément conducteur du fluide de la phosphorescence dans les corps, et l'eau combinée, au contraire, un élément indéférent.

Les métaux ont un pouvoir destructeur de la phosphorescence. Il dit aussi que, puisque le fluide de la phosphorescence est soumis à la loi des corps conducteurs ou indéférents, il est de nature électrique.

Il en est de même de morceaux de verre fortement chauffés. Quand la température est assez élevée pour ramollir le verre, on lui enlève la propriété lumineuse par insolation. Il a avancé que le verre contient un principe aqueux et qu'il est probable que ce principe appartient à une portion d'alcali non combiné qui excède la saturation de la silice. M. Dessaignes, attribuant la phosphorescence à l'électricité, sans définir d'une manière nette comment il se fait que l'électricité agit dans cette circonstance, dit qu'il existe dans les corps deux espèces d'eau : l'eau combinée, qui éprouve un si grand resserrement qu'elle perd toute sa propriété conductrice pour l'électricité et son principe lumineux; l'eau interposée, qui, conservant une partie de sa propriété conductrice, la communique au mixte et le constitue demi-conducteur pour le fluide électrique. Cette théorie repose sur une hypothèse qu'aucun fait ne saurait justifier. Il expose ensuite d'autres phénomènes lumineux, dans l'examen desquels nous n'entrerons pas.

Il a reconnu que plusieurs sels métalliques deviennent

lumineux par la percussion, ainsi que quelques substances. Il cite particulièrement le felds-spath adulaire qui, lorsqu'on le frappe de manière à former des fissures dans l'intérieur de sa substance, développe une lumière permanente dans chacune d'elles, qui dure quelques minutes. En le broyant dans un mortier à coups redoublés, il paraît tout en feu et le contact de la main semble le dissiper plus promptement.

Un grand nombre de corps sont phosphorescents par le frottement. Ce fait est connu dès la plus haute antiquité. Mais comme il y a en même temps dégagement d'électricité, on a rapporté le phénomène à ce dernier agent, aussitôt que l'on eut connaissance de ses principales propriétés. Ce rapprochement n'était pas suffisant pour établir leur identité; aussi Beccaria et autres physiciens se bornèrent-ils à rapprocher ces deux effets. M. Dessaignes (1) a passé en revue la phosphorescence par insolation.

On sait depuis long-temps qu'un grand nombre de sels qui ont été calcinés, jouissent de la propriété de devenir lumineux après leur exposition à la chaleur solaire. M. Dessaignes a trouvé, comme on l'avait observé avant lui, que la plupart des diamants réduits en petits fragments, deviennent lumineux après une courte exposition à la lumière, mais il avoue qu'il ignore si cette propriété dépend de la lumière indépendamment de la chaleur qu'elle lui communique, attendu qu'il existe des corps qui sont phosphorescents à des températures assez peu élevées. Les diamants, suivant lui, perdent cette propriété après une forte calcination. Il a trouvé que le zircon, le rubis, ainsi que beaucoup d'autres substances vitreuses, n'éprouvent aucun effet de la lumière solaire. Il en est encore de même de tous les liquides, des métaux et de leurs composés, à l'exception cependant du sulfure d'arsenic jaune. Enfin il a annoncé que des tubes

(1) Journ. de Phys., t. LXXI, p. 333.

de verre, scellés par les deux bouts et privés d'air, deviennent lumineux après une exposition à la lumière solaire.

Il s'est occupé aussi de la phosphorescence qui se développe à la température ordinaire. Après avoir parlé des sulfures alcalins, il cite les corps organisés qui se trouvent dans ce cas, particulièrement le bois et le poisson, quand on les prend dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction. Il a trouvé en outre que ces deux corps ne reluisent qu'autant qu'ils se trouvent dans un milieu où il peut se former de l'acide carbonique et qu'ils s'éteignent dans des milieux privés d'eau, ainsi que dans le gaz azote et le gaz hydrogène.

M. Dessaignes (1) a étudié la propriété lumineuse qu'acquièrent tous les corps par la compression. Ce physicien avait supposé que l'eau solidifiée dans la chaux caustique ou dans le phosphore de Canton, au moment où elle s'unit à ces corps, pouvait être la cause de cette lumière phosphorique que l'on aperçoit. Si cela était ainsi, on devait produire le même effet sur l'eau par une forte compression. En conséquence, il a comprimé fortement ce liquide dans un tube de cristal avec un piston; au moment du choc, il a aperçu une vive lumière qui a brillé comme un éclair dans la partie du tube qui contenait le liquide. Cette lumière était jaune et intense : l'expérience a été répétée quatre fois de suite avec le même succès; à la quatrième, l'eau n'a plus été lumineuse; mais ce résultat négatif tenait, suivant lui, à une circonstance indépendante de l'expérience.

Le verre ne luit point, quelle que soit la violence de la percussion, tant qu'il reste intact sous le choc; dans le cas contraire, la lumière est rare et faible. L'huile d'olive, de l'huile volatile, de l'alcool, de l'éther et de l'acide acétique ont paru aussi lumineux que l'eau.

---

(1) Journ. de Phys. 1811, p. 41.

Dans la compression, la température de l'eau a monté de 15 à 20°. La craie en poudre, choquée fortement dans l'obscurité, dans le tube, s'est pénétrée d'une lumière vive qui a disparu comme un éclair.

La fleur de soufre, le sulfate de magnésie desséché, le nitrate de potasse, l'oxide noir de manganèse, de la cendre, du sable de miça, du charbon végétal en poudre, ont produit également de la lumière.

Le fer choqué ne donne aucune lueur, en assenant, dans l'obscurité, de grands coups de marteau sur une enclume bien essuyée. Toutes les substances précédentes, frappées sous le marteau, ont fait jaillir des éclairs plus ou moins vifs. Les oxides d'étain et de plomb ont brillé d'une manière bien plus évidente, et la lueur du second en a paru d'un rouge assez intense.

Le nitrate de potasse fondu, le muriate d'ammoniaque sublimé, ne donnent rien sur l'enclume, probablement à cause de leur ductibilité.

La craie est très-brillante sous le marteau.

Le soufre et les oxides métalliques, produits par la voie sèche, ou qui en ont été privés par la calcination, tels que les sulfates d'alumine et de chaux, ne produisent qu'une lumière beaucoup plus rare, et d'une plus difficile émission que celle des corps précédents.

Il a pensé que cette différence venait de ce que ceux-ci sont à l'état d'hydrate, et que l'eau fortement solidifiée dans ces corps pourrait bien être la cause de l'accroissement de phosphorescence.

Le fluate de chaux et le phosphate de chaux, calcinés et réduits en poudre, ne donnent qu'une lueur rare et fugitive. La chaux caustique fortement calcinée ne donne aucune lueur sous le choc. Cette même chaux, humectée d'un peu d'eau, devient très-lumineuse sous le choc. Elle cesse de l'être lorsque son affinité pour l'eau est à son point de saturation. Il en a été de même pour la craie et la magnésie légèrement humectées. Il semble que l'eau qui n'est pas retenue dans les corps par une attraction énergique, leur communique une espèce de

ductibilité, et que la force ne s'y transmet plus que successivement comme dans les corps mous.

Le gaz oxigène, aussi fortement comprimé que l'eau, donne une lumière d'un jaune rouge. Il en est de même du gaz azote et du gaz hydrogène.

Quelque temps après que M. Dessaignes eut publié ses expériences, M. Saissy de Lyon, les ayant répétées, arriva à d'autres conclusions. En comprimant les gaz dans un briquet à air, comme avait fait M. Dessaignes, il vit que l'oxigène, l'air et le chlore devenaient lumineux par la compression, mais que tous les autres gaz ne présentaient pas ce phénomène, même dans l'obscurité la plus profonde. Les expériences de M. Saissy furent répétées dans le laboratoire de M. Berthollet (1), en présence de tous les membres de la société d'Arcueil, sur l'oxigène, l'air, l'hydrogène, l'azote, et l'acide carbonique. L'oxigène produisit une vive lumière, l'air un peu moins, et les autres gaz aucune.

M. Thénard a cherché la cause de cette différence (2). Il soupçonna d'abord que, le cuir des pistons qu'on employait à comprimer les gaz dans les tubes étant imprégné d'un corps gras que l'eau ne mouille que difficilement, la lumière qui se manifestait pouvait être attribuée à la production subite d'un peu d'eau, ou d'acide hydro-chlorique. Pour savoir à quoi s'en tenir à cet égard, il opéra avec des pistons de feutre de chapeau, que l'eau mouille aisément, comme on sait. Il observa que toutes les fois que l'on mouillait le feutre ou le cylindre métallique, et que l'on nettoyait le tube de verre avec de la potasse, il n'y avait jamais de lumière. Quand ces deux conditions n'étaient pas remplies complétement, une légère lueur apparaissait presque toujours.

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIV, p. 182.

(2) *Idem.*

De toutes les expériences que cet habile chimiste fit, il en tira les conséquences suivantes. Aucun gaz ne devient lumineux de lui-même par la pression exercée de la manière ordinaire dans les briquets à air; lorsque l'on comprime à la main, le plus fortement possible, un gaz dans un tube de verre, il se trouve porté à une température qui excède bien plus de 205°. Le papier, le bois, s'enflamment dans le gaz oxigène que l'on soumet à une forte pression. Si l'on comprimait les gaz beaucoup plus fortement, et d'une manière instantanée, ils s'échaufferaient bien plus; mais alors deviendraient-ils lumineux? Tout nous porte à croire que ce résultat ne pourrait avoir lieu qu'à un degré de chaleur très-intense. Ces expériences montrent donc que la lumière produite dans les circonstances où M. Thénard a opéré, sont le résultat d'une action chimique.

John Hart (1) a recherché la cause de la lumière qui est produite par la décharge d'un fusil à vent, dans l'obscurité. On supposait avant lui que cette lumière était électrique, et provenait de l'expansion subite de l'air condensé. Après plusieurs expériences, il attribua la lumière au frottement de la bourre sur la paroi intérieure du canon. Ayant essayé successivement la soie, le drap, la plume, le papier, la résine, la gomme laque et le verre, les trois premières substances et la gomme laque produisirent parfois de la lumière. La soie et le verre ne manquèrent jamais d'en donner. Celle qui était produite par le verre, était la plus vive. De vieilles bourres de soie humides et sales donnaient beaucoup plus de lumière que lorsqu'elles étaient neuves. En opérant avec de la soie très-propre et sèche, de la laine, etc.; il ne put obtenir de lumière. M. Hart conclut de toutes ces expériences, que la lumière qui se manifeste dans la décharge d'un fusil à vent, provient uniquement

(1) Journ. of science, t. xv, p. 64, et Annal. de Ch. et de Phys., t. xxii, p. 436.

de l'attrition occasionée par le sable ou autres substances dures, qui adhèrent à la bourre, ou sont tombées par accident dans le canon, de sorte que l'expansion subite de l'air, en sortant du réservoir où il était comprimé, ne donne lieu à aucun phénomène lumineux.

Les premières expériences qui ont été faites sur le développement de la phosphorescence par l'électricité, sont dues à Lane, Canton et Beccaria; elles ont été continuées par Wilson, Morgan et autres.

Nous avons déja vu le résumé de ces observations (1), ainsi nous n'y reviendrons pas.

M. Dessaignes s'est occupé de cette question (2). Il s'est attaché à rendre, par l'électricité, la phosphorescence à des corps qui l'avaient perdue. M. Placidus Heinrich s'est occupé beaucoup de la phosphorescence des corps. M. Skrimshire (3) a fait aussi quelques expériences sur la phosphorescence passagère qu'éprouvent certaines substances, quand on les expose au choc électrique.

M. Pearseal est un des physiciens qui ont fait faire réellement un pas important à cette partie de la science depuis Beccaria. Aussi vais-je rapporter les principaux résultats auxquels il est parvenu (4).

On sait que certains minéraux, entre autres une variété de chaux fluatée appelée chlorophane, perdent leur propriété phosphorescente par la chaleur quand elles ont été chauffées fortement. M. Pearseal a prouvé qu'on la rendait à la chlorophane en l'exposant à l'action d'une seule décharge d'une bouteille de Leyde. Cette propriété paraît augmenter d'intensité en raison du nombre et de l'intensité des décharges.

Il est parvenu à rendre phosphorescents des corps

---

(1) Page 66 de cette notice.
(2) Journ. de Phys., t. LXXI, p. 67.
(3) Enc. Metrop. art. Électricité, § 177.
(4) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIX, p. 337 et 346.

qui ne l'étaient pas avant ; ainsi un spath fluor non coloré, qui n'était pas lumineux par la chaleur, le devint avec une couleur de feu après cinq ou six décharges. Il a observé que, dans ce cas, les fluors blancs, qui d'ordinaire sont peu ou point phosphorescents, prennent après les décharges une teinte bleuâtre, analogue à celle qui est propre aux cristaux naturels qui sont phosphorescents. Les diamants qui n'étaient pas phosphorescents, le devinrent après 12 ou 15 décharges. Il a reconnu aussi que le nombre des décharges influe sur la couleur de la phosphorescence, et que dans les cas où des fluors naturels émettent une lumière de différentes couleurs, l'action électrique n'en produit qu'une seule.

Il a déterminé ensuite la permanence de la propriété communiquée par l'électricité. Ayant divisé en deux portions des fluors qui avaient été électrisés, l'une a été exposée aux rayons du soleil et l'autre, enveloppée de papier, a été placée dans l'obscurité ; la première après une exposition de 21 jours avait perdu à peu près toute sa phosphorescence, tandis que l'autre avait conservé la propriété de reluire par l'action de la chaleur.

En exposant à des décharges électriques des corps phosphorescents par eux-mêmes, il a donné une nouvelle intensité à cette propriété, et il en est résulté une série de couleurs magnifiques.

M. Pearseal a étudié ensuite l'influence de la structure des corps sur la phosphorescence ; il a pris pour sujets de ses expériences le phosphate de chaux minéral et le phosphate de chaux artificiel. Le premier est très-phosphorescent, le second, calciné et électrisé, n'a produit aucun effet. Il en résulte donc que la différence qui existe entre ces deux composés, différence qui tient à l'arrangement des particules et à leur contexture, exerce une grande influence sur le phénomène. Le spath fluor, qui est phosphorescent, réduit en poudre, ne l'est plus quand, après avoir été dissous dans l'acide muriatique, on le précipite par l'ammoniaque ; si on le

sèche, qu'on le calcine et qu'on l'électrise, il ne donne aucun résultat, tandis que de petits cristaux de la même substance, formés naturellement, sont phosphorescents.

Au lieu de faire passer la décharge directement sur les substances, il les a renfermées dans des tubes de verre. En faisant passer la décharge électrique à la surface extérieure du verre, après un grand nombre de décharges, ses fragments devinrent phosphorescents. En rapportant ces expériences, M. Pearseal se demande « si l'on ne peut pas admettre que, lorsqu'une sub« stance non phosphorescente le devient après qu'on « l'a exposée à l'action de décharges électriques, il en « résulte des vibrations entre les particules qui, se re« nouvelant à chaque décharge, modifient graduelle« ment la structure du corps et lui impriment un mou« vement particulier. Dès lors, l'action de la chaleur « ne consisterait-elle pas à permettre au corps de revenir « à son état primitif de structure, et ne serait-ce pas « ces vibrations, qui ont lieu dans les atomes de la ma« tière lorsqu'il y a changement de structure, qui donne« raient naissance à la lumière émise dans ces phéno« mènes? » C'est précisément cette théorie que j'ai essayé d'établir dans les Mémoires où j'ai traité de la phosphorescence.

M. Brewster s'est occupé, il y a quatorze ans, de la phosphorescence des minéraux (1). Pour observer cette propriété, il projetait des fragments sur une masse épaisse de fer chaude placée dans une chambre obscure; ou bien, quand la phosphorescence était très-faible, il prenait un canon de pistolet dans lequel il introduisait le minéral, après avoir bouché la lumière; puis il plaçait la culasse dans le feu. En regardant dans le canon, il apercevait la phosphorescence. Il a trouvé ainsi la propriété lumineuse dans un

(1) Journ. philosophique d'Édimbourg, 1, 383. Annal. de Ch. et de Phys., t. XIV, p. 289.

très-grand nombre de minéraux. En étudiant la phosphorescence du spath fluor, il fut conduit à penser que cette substance émettait de la lumière polarisée dans différents plans. En analysant ce phénomène, il reconnut qu'il ne restait aucune trace de cette propriété quand la lumière était analysée, soit par réflexion, soit au moyen d'un spath calcaire, dans lequel un des pinceaux est éteint (1).

M. Brewster tira de toutes ses expériences les résultats suivants, dont la plupart sont connus depuis longtemps, comme on peut le voir d'après ce qui a été exposé précédemment :

1° La propriété d'émettre la lumière phosphorique, à une certaine température, est commune à un grand nombre de substances minérales.

2° Les minéraux qui jouissent de cette propriété sont en général colorés ou imparfaitement transparents.

3° La couleur de la lumière phosphorique n'a pas de rapport fixe avec la couleur du minéral.

4° Cette propriété peut être complétement détruite par l'application d'une chaleur intense.

5° En général, la lumière n'est pas réabsorbée par les corps phosphorescents exposés à son action.

6° L'existence de la lumière phosphorique que la chaleur développe, n'a aucune connexion avec celle de la lumière obtenue par voie de frottement, puisque des corps dépouillés de la faculté d'émettre la première, conservent toujours la puissance productive de la seconde.

7° Cette lumière phosphorique possède les mêmes propriétés que la lumière directe du soleil ou de tout autre corps lumineux.

8° Il est un grand nombre de substances parmi lesquelles on rencontre des échantillons qui ne sont pas phosphorescents par la chaleur. Dès lors la phosphorescence

(1) Philos. Transac. 1819, p. 148.

ne peut être considérée comme un caractère essentiel des minéraux qui en sont doués.

M. Arago (1), en étudiant la lumière émise par les minéraux phosphorescents, a indiqué un moyen de déterminer dans quelle proportion leurs parties intérieures concourent à la production de cette lumière.

Hulme a prouvé que les lampyres et le bois luisant cessent d'être lumineux à une basse température et qu'ils reprennent cette faculté en leur rendant de la chaleur.

MM. Julia Fontenelle (2) et Quenesville fils ont observé qu'en jetant quelques gouttes d'acide sulfurique concentré sur de la baryte et de la strontiane, il en résulte un dégagement de chaleur considérable. La baryte reste rouge pendant quelques minutes, tandis que la strontiane ne donne qu'un fort dégagement de chaleur.

M. Dumas (3) a remarqué que l'acide borique, fondu dans un creuset de platine, se fendille au moment du refroidissement en jetant une vive lumière qui suit la direction des fentes; enfin le sulfate de quinine, chauffé à une douce chaleur, devient lumineux.

Il existe encore un autre phénomène de phosphorescence qui est connu de tous les chimistes, c'est celui qui est produit dans certains corps, tels que la zircone, l'oxide de chrôme, etc., à une température élevée. Dans ce cas, les propriétés chimiques de ces corps sont changées sans qu'il y ait aucune addition ou dégagement de parties.

Tels sont les principaux phénomènes de phosphorescence qui ont été observés. Tous ces phénomènes rentrent dans ceux qui sont relatifs à la lumière électrique; il suffit de se rappeler que cette lumière n'accompagne le dégagement de l'électricité qu'autant que celle-ci a une tension suffisante, et qu'elle est due ou à la séparation des deux électricités à l'instant du dégage-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XIV, p. 299.
(2) *Idem*, t. XXXVII, p. 223.
(3) *Idem*, t. XXXII, p. 335.

ment ou à leur action sur les corps environnants pour former du fluide neutre. Lorsque les deux principes électriques se séparent dans le frottement, la pression ou l'action chimique de deux corps qui sont en contact, on ne peut recueillir ces deux fluides qu'autant que les deux corps ne sont pas bons conducteurs, ou au moins l'un d'eux; car leur recomposition est tellement immédiate que les deux surfaces ne peuvent pas accumuler assez d'électricité pour leur procurer, en raison de la conductibilité du corps, une tension suffisante pour produire des phénomènes lumineux. Aussi voit-on que tous les corps bons conducteurs de l'électricité ne sont pas phosphorescents; c'est une propriété qui appartient en général aux corps regardés comme mauvais conducteurs.

D'un autre côté, on ne recueille d'électricité qu'autant que l'on sépare, c'est-à-dire, que l'on peut isoler les molécules, car si celles-ci, après avoir été ébranlées, reprennent leur position primitive d'équilibre, il y a recomposition immédiate des deux électricités, et lueur produite si elles ont une tension suffisante.

La chaleur, dans certains corps, en dilatant leurs molécules, les dérange bien à la vérité momentanément de leur position d'équilibre, ce qui est une cause de production d'électricité, mais elle produit encore, dans quelques circonstances, un changement dans leur état d'agrégation, qui est aussi une autre cause productive de l'électricité Je me borne à indiquer les principes généraux de la théorie que j'ai donnée de la phosphorescence.

CHAPITRE SECOND.

PRÉCIS DE NOS CONNAISSANCES SUR L'ÉTAT ACTUEL DU GLOBE.

Nous devons aborder maintenant une grande question, celle de l'application de l'électricité aux phénomènes naturels qui se passent journellement dans l'intérieur de la terre. Ces phénomènes peuvent être rangés en deux classes : phénomènes électro-chimiques et phénomènes magnétiques.

Il est bien loin de ma pensée de vouloir prouver que la formation du globe que nous habitons est le résultat de l'action de forces électriques. Ce serait de ma part une aberration d'esprit que rien ne saurait excuser. Je suis à peu près d'accord avec les géologues sur les diverses causes qui ont concouru non-seulement à sa formation, mais encore aux changements plus ou moins brusques qui ont donné à sa surface sa configuration actuelle; mais je crois qu'il se passe maintenant, dans l'intérieur de la terre, comme aux différentes époques où la nature n'a pas été exposée à des commotions violentes, des actions lentes auxquelles les actions électriques président et prêtent leur puissant appui. Ces actions lentes sont d'autant plus intéressantes à étudier qu'elles n'ont pas encore été l'objet d'investigations spéciales, et qu'elles peuvent jeter quelque jour sur une infinité de phénomènes dont on ne connaissait pas jadis l'origine. Pour indiquer le but que je me suis proposé, j'ai cru devoir présenter un précis de nos connaissances sur l'état actuel du globe, afin de bien distinguer les phénomènes ter-

restres que je rapporte à l'électricité, de ceux qui ont une autre origine.

Quant au magnétisme terrestre, il dépend de causes qui nous sont encore inconnues, mais auxquelles concourent très-probablement la chaleur terrestre et la chaleur solaire; c'est donc un motif pour étudier la distribution de la chaleur, non-seulement dans la terre, mais encore dans les diverses couches de l'atmosphère, en ayant égard à la nature des substances dont se compose l'enveloppe de notre planète.

D'après ces courtes considérations, je vais passer en revue les principaux phénomènes géologiques connus, ainsi que les observations les plus importantes qui ont été faites jusqu'ici sur la chaleur terrestre et la chaleur atmosphérique.

§ I. *État du globe dans les premiers temps de sa formation, et des diverses révolutions qui ont changé successivement sa surface.*

Lorsqu'un voyageur parcourt un pays de plaines, il rencontre fréquemment sous le sol des dépôts en couches horizontales de substances renfermant des débris de corps organisés, qui sont souvent dans un état parfait de conservation, tels que des coquilles pourvues encore de leurs tests, de leurs pointes et de leurs contours les plus délicats. Il admet sur-le-champ que ces dépôts ont été formés par des eaux qui ont séjourné long-temps dans ces localités; mais s'il se transporte sur les hautes montagnes ou dans les vallées, la scène change, il voit de tous côtés des monceaux de ruines qui lui annoncent que des révolutions et des catastrophes violentes ont bouleversé la surface du globe dans plusieurs parties. Les dépôts qui se trouvaient dans les plaines en couches horizontales, sont ici relevés, et d'autant plus qu'ils sont rapprochés davantage des hautes chaînes. Leur inclinaison est la même, mais en sens inverse sur les revers opposés. Ces faits lui annoncent donc qu'une cause intérieure a

soulevé la surface du globe, l'a déchirée et a produit ces montagnes qui la sillonnent dans tous les sens. Son étonnement redouble encore, quand il reconnaît que ces monceaux de ruines, ces dépôts en couches souvent presque verticales, sont recouverts quelquefois d'autres dépôts formés par des eaux tranquilles et qui se trouvent par conséquent dans une direction horizontale. Dès lors il reste convaincu que le globe a éprouvé des alternatives de trouble et de calme pendant lesquelles la nature a agi d'abord avec violence, ensuite avec beaucoup de lenteur.

Les géologues, d'après les observations de De Saussure sur les pouddings de Valorsine, croient généralement que les terrains de sédiment dont les couches sont plus ou moins inclinées à l'horizon, ont été déplacés, soulevés par une cause violente venue de l'intérieur de la terre, qui a agi après leur formation et a donné aux diverses aspérités du globe des caractères particuliers.

Ces causes n'ayant pas agi aux mêmes époques, il en est résulté plusieurs classes de montagnes qui se distinguent entre elles par la direction qu'elles affectent; c'est ainsi que M. Léopold de Buch a montré que le sol de l'Allemagne pouvait se diviser en quatre classes ou systèmes; mais il restait à déterminer l'âge relatif des montagnes, c'est-à-dire la classification par époque des soulèvements successifs qui ont donné à la surface terrestre sa configuration actuelle. Cet important travail a été exécuté par M. Élie de Beaumont (1), de la manière la plus remarquable.

On peut de suite se faire une idée de la différence tranchée qui existe entre les époques de soulèvements en visitant les Alpes d'une part, les Vosges et l'Angleterre de l'autre; dans les Alpes, les couches secondaires et

---

(1) Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe.

tertiaires sont soulevées, tandis que, dans les Vosges et l'Angleterre, toutes les formations supérieures au terrain houiller ont conservé à peu près leur horizontalité.

Notre savant géologue a montré que les soulèvements, qui ont dû interrompre la formation des terrains de sédiment ou du moins en changer la nature, tant sous le rapport de leur composition que sous celui des débris de corps organisés qu'ils renferment, sont le résultat d'actions brusques et instantanées qui ont agi à des époques plus ou moins éloignées, entre lesquelles la nature a joui d'un certain repos. Il a donc voulu arriver, par la position des couches de sédiment dans les montagnes, aux conséquences auxquelles M. Cuvier était parvenu par l'étude des fossiles.

M. Élie de Beaumont distingue en Europe douze époques de soulèvements, savoir :

1° Système du Westmoreland et du Hundsruck ;

2° Système des Ballons (Vosges) et des collines du Bocage (Calvados) ;

3° Système du nord de l'Angleterre ;

4° Système des Pays-Bas et du sud du pays de Galles ;

5° Système du Rhin ;

6° Système du Thuringerwald, du Bohmerwald-Gebirge, du Morvan ;

7° Système du Mont-Pilas, de la Côte-d'Or et de l'Erzgebirge ;

8° Système du Mont-Viso ;

9° Système des Pyrénées ;

10° Système des îles de Corse et de Sardaigne ;

11° Système des Alpes occidentales ;

12° Système de la chaîne principale des Alpes, depuis le Valais jusqu'en Autriche.

Jusqu'ici les gneiss, les granites, etc., sont les terrains les plus anciennement formés. Ce sont eux qui, par l'effet des soulèvements ou des ridements, pour me conformer aux idées de M. Élie de Beaumont, traversent les terrains de nouvelle formation, et apparais-

sent au-dessus d'eux, sous la forme de pics ou d'aiguilles. Ces grandes masses de roche, qui forment en quelque sorte la charpente solide de l'écorce de notre globe, proviennent-elles d'une dissolution aqueuse, ou d'une dissolution ignée? Ces deux opinions ont partagé longtemps les géologues en deux classes, les uns ont été appelés Neptuniens, les autres Plutoniens; mais aujourd'hui il est généralement reconnu qu'à l'époque où elles ont été formées, la température du globe était tellement élevée, que la chaleur a dû agir seule; ainsi donc le feu a exercé toute son action dans les premiers temps, lorsque l'enveloppe solide avait encore peu d'épaisseur et une température considérable, et l'eau quand cette température a été suffisamment abaissée pour qu'elle pût se maintenir à la surface du globe, à l'état liquide. Quelques granites et les gneifs ne sont peut-être que des agglomérats, dont les parties constituantes ont été d'abord fondues, puis réunies ensuite par l'eau. A cette première époque, les corps organisés n'avaient pas encore paru sur le globe, la nature inorganique y régnait seule.

Puisque nous reconnaissons que le feu a été une des causes premières de la formation de notre planète, voyons dans quel état elle se trouvait dans les premiers temps : toutes les théories modernes, fondées sur les données les plus positives que nous fournissent l'astronomie, la physique et la géologie, admettent que la terre était primitivement à l'état gazeux, c'est-à-dire que toutes les substances solides qui la composent aujourd'hui, se trouvaient disséminées à l'état de vapeur, dans un espace beaucoup plus étendu que celui qu'elle occupe maintenant. Le rayonnement de la chaleur dans les espaces célestes aura successivement abaissé la température de cet amas de vapeurs; les corps les plus réfractaires et les plus pesants, qui sont les métaux, auront été condensés les premiers, et auront formé un bain métallique au centre, d'où sera résultée, comme l'a avancé M. Ampère, une chaleur énorme,

qui aura retardé la condensation des autres matières.

Suivant la manière de voir de cet ingénieux physicien, le premier noyau formé serait un alliage de métaux non oxidés, possédant encore une température excessive. Après cela il y aura eu une nouvelle condensation des substances les moins fusibles, à laquelle auront concouru leurs affinités réciproques ; il en sera résulté alors de nouveaux composés. Le potassium et le sodium auront dû jouer un grand rôle dans ces réactions successives, en raison de leurs fortes affinités pour un grand nombre de corps. La température continuant à baisser, l'oxigène, l'hydrogène, l'iode, le soufre, etc., et en général les corps non métalliques, en réagissant les uns sur les autres, auront donné naissance à l'eau et aux acides, qui auront produit une foule de combinaisons. La première réaction sur les alliages de potassium et de sodium avec les métaux les plus combustibles, aura été très-énergique; il s'en sera suivi un grand dégagement de chaleur qui aura volatilisé de nouveau plusieurs des corps déja solidifiés. C'est à cette époque que les bases salines et terreuses auront été formées; elle seront ensuite entrées peu à peu dans de nouvelles combinaisons, qui auront été favorisées par une température élevée. L'oxigène ayant été absorbé par un grand nombre de corps, il sera resté beaucoup d'azote autour du globe, vu son peu d'affinité pour les bases.

Le refroidissement continuant toujours, la croûte qui s'était formée sur le bain métallique, aura dû occuper un espace moindre. Il en sera résulté des contractions et des plissements, qui auront produit des montagnes, comme M. Élie de Beaumont l'a fort bien expliqué.

Il est probable que les eaux qui ont commencé à couvrir la surface du globe étaient fortement acidulées; en s'infiltrant à travers les fissures de la croûte, elles se seront accumulées dans des cavité d'où elles auront fait irruption sur les matières oxidables en fusion. On aura eu alors des combinaisons nouvelles qui auront été suivies de tremblements de terre, de soulève-

ments de cratères et d'éruptions abondantes de laves.

On conçoit parfaitement que toutes ces réactions se renouvelant souvent, la croûte du globe acquérait plus d'épaisseur, et laissait passer plus difficilement les liquides. Les soulèvements et les éruptions de laves sont devenus moins fréquents; la température de l'atmosphère étant très-diminuée, et la surface du globe moins exposée à être bouleversée, les corps organisés ont commencé à paraître. Comment s'est effectué le passage de la nature inorganique à la nature organique? c'est là le mystère de la création que l'homme n'a pu pénétrer. Ce que l'on peut faire de mieux pour l'instant, est de tâcher de saisir l'époque où il a eu lieu, dans l'espoir de découvrir quelques-unes des causes qui ont concouru à ce grand acte de la création. Les molécules des corps inorganiques sont composées d'éléments dont quelques-uns se trouvent dans celles des corps organiques; mais la différence essentielle qui paraît exister dans leur constitution, c'est que les premières sont terminées par des surfaces planes, comme les polyèdres de la géométrie, tandis que les autres, qu'on appelle globules, sont sensiblement sphériques. L'étude des forces qui ont présidé et président encore à de semblables arrangements, ne peut manquer d'intéresser vivement toutes les personnes qui aiment et cultivent la philosophie naturelle; cette étude rentre en partie dans le domaine de l'électro-chimie, voilà pourquoi j'en fais mention ici.

L'étude des fossiles nous apprend que la vie végétale a commencé par les monocotylédones, à une époque où l'atmosphère renfermait très-probablement plus d'acide carbonique que maintenant. Ces végétaux avaient des dimensions colossales, à en juger par leurs débris que nous retrouvons dans plusieurs formations. Quant à la vie animale, on pensait jadis qu'elle avait commencé après la vie végétale; mais aujourd'hui on est porté à croire qu'elle est contemporaine, sans que l'on puisse cependant remonter à son origine, car les premiers êtres que l'on a observés sont déja des ani-

maux assez parfaits. On trouve parmi eux des céphalopodes.

La formation des grandes masses de calcaire qui renferment des coquilles, tend à confirmer la conjecture que l'acide carbonique se trouvait alors dans l'atmosphère en plus grande proportion que maintenant; aussi a-t-on supposé qu'il a été absorbé lentement par la chaux qui se trouvait alors en abondance sur la surface de la terre, et par différentes bases qui font partie maintenant d'autres combinaisons. Une objection se présente ici : comment tous ces mollusques dont on trouve les dépouilles dans les calcaires, ont-ils pu vivre dans une eau chargée de chaux ou d'autres bases? c'est une question que nous aurons l'occasion d'examiner en parlant de la formation des calcaires. Nous tâcherons ensuite de fixer à peu près l'époque probable où l'acide carbonique a commencé à former des combinaisons.

Lorsque l'air fut devenu plus pur, et l'eau moins acidulée, les animaux parurent; d'abord les invertébrés, c'est-à-dire ceux dont la constitution est la plus simple, et successivement les espèces les plus composées. On commence effectivement par rencontrer des débris de mollusques et de zoophytes dans les dernières formations des terrains de transition; viennent ensuite les poissons, les reptiles, les oiseaux, et les mammifères. Ce n'est donc qu'à l'époque de la formation des terrains intermédiaires que la vie animale a commencé à s'établir sur le globe. Elle a lutté long-temps avec la nature inerte, mais elle a fini ensuite par prendre le dessus. Cette marche de la vie s'est faite graduellement, dans les temps de calme qui succédaient aux révolutions subites qui bouleversaient de temps à autre la surface du globe.

Enfin ces révolutions étant devenues plus rares, et la terre ayant acquis plus de stabilité, l'homme fut créé; c'est le dernier ouvrage de la nature, car l'on n'a trouvé jusqu'ici aucun ossement fossile humain dans les

diverses formations dont se compose la croûte du globe, même dans les terrains les plus modernes, auxquels on a donné le nom de diluviens. L'exposé que nous venons de présenter montre que la nature n'a pas toujours agi avec violence, et qu'elle a procédé avec lenteur toutes les fois que la surface du globe n'a pas été bouleversée par des commotions intérieures.

Quelle est la nature des forces qui ont produit ces actions lentes, auxquelles nous devons un si grand nombre de corps? est-elle purement chimique ou électro-chimique? c'est là une des grandes questions géologiques dont on doit essayer de chercher la solution; nous n'adoptons aucune idée systématique sur la cause première de la formation des corps, puisque nous nous demandons quelle est la nature des forces qui ont présidé à leur constitution. La discussion des faits jettera quelque jour sur ce sujet important.

Les dépôts dont se compose l'enveloppe superficielle de notre globe ne sont pas toujours formés des mêmes substances, et ne renferment pas constamment des débris de corps organisés de même espèce. La première conséquence que l'on peut tirer de ces faits fondamentaux, est, qu'aux différentes époques de leur formation, l'état de la surface du globe et la constitution de l'atmosphère n'étaient pas semblables: l'un et l'autre ont changé successivement. Cette observation est importante à noter, si l'on veut chercher à expliquer les altérations qu'ont éprouvées entre chaque révolution les substances qui étaient déja déposées dans les filons, ou dans d'autres localités. Peut-être en reprenant la question d'une manière inverse, sera-t-il possible un jour de remonter de ces altérations, quand elles auront été bien constatées, aux causes qui les ont produites, c'est-à-dire à l'état de l'atmosphère et de la surface du globe aux diverses époques où elles ont eu lieu. Ces recherches que nous nous bornons à indiquer rentrent dans le domaine de l'électro-chimie, et quoiqu'elles présentent de grandes

difficultés, on ne doit pas désespérer cependant de les voir infructueuses.

D'un autre côté, les eaux ne se sont pas toujours retirées lentement, comme la formation des terrains de sédiment semble l'indiquer, car les cataclysmes qui ont amené le soulèvement des montagnes, ont dû déplacer les mers et les rejeter dans de nouveaux bassins.

La présence, dans les glaces du Nord, des cadavres de grands quadrupèdes dont l'espèce n'existe plus, et qui ont été préservés de toute putréfaction depuis un nombre considérable de siècles, est une des preuves que l'on peut donner du déplacement des eaux sur la surface du globe.

Cette même surface, avons-nous dit, à différentes époques a été recouverte d'une riche végétation, qui a dû former un humus, dont, en effet, on retrouve encore des traces dans le petit nombre de localités où il n'a pas été détruit par des révolutions subséquentes.

D'un autre côté, l'eau de la mer se trouvant en contact avec un grand nombre de substances, qui étaient exposées avant à l'influence d'une atmosphère dont nous ne connaissons pas la composition, a dû réagir sur elles et donner naissance à de nouveaux produits.

Tout nous prouve que les masses qui forment les plus hautes montagnes ont été primitivement dans un état liquide ou gazeux, attendu que l'on trouve partout des traces de cristallisation qui ne se rencontrent que dans les substances qui ont été dissoutes par la chaleur ou par un liquide. Il est possible cependant d'obtenir des composés cristallisés, sans que leurs éléments aient été à l'état liquide ou gazeux, comme nous avons déja eu l'occasion de le voir.

On dit avec raison que la nature n'agit plus maintenant comme elle agissait jadis; mais aussi les circonstances ne sont plus les mêmes : la température était beaucoup plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui; l'atmosphère renfermait très-probablement alors des éléments gazeux qui n'y sont plus maintenant; il se trouvait aussi dans les

eaux, suivant toutes les conjectures, un plus grand nombre de sels solubles qui, par leur réaction sur les corps environnants, ont produit cette foule de composés insolubles qui entrent dans les terrains de sédiment, et dont quelques-uns ont éprouvé et éprouvent encore des décompositions dont nous étudierons la cause et les effets.

Nous devons ajouter encore que la pression de l'atmosphère, étant très-probablement plus considérable dans ces temps reculés qu'elle ne l'est maintenant, a dû influer sur la quantité de sels dissous dans les eaux et contribuer par suite à des réactions plus énergiques sur les masses d'où seront résultées de nouvelles combinaisons.

De nouveaux exemples feront encore mieux sentir l'importance de l'étude des actions lentes pour la solution d'autres questions de même nature. On sait que les eaux qui heurtent avec violence le flanc des montagnes, en détachent des parties qu'elles entraînent avec elles. Aussitôt que leur vitesse est suffisamment diminuée, elles déposent d'abord les plus grosses, puis les moindres, et il n'arrive guère dans les rivières, dans les fleuves ou à leur embouchure dans la mer que les parcelles les plus ténues, qui sont successivement déposées au fond et sur les bords, où elles forment, avec les débris des corps organisés qui s'y mêlent, des alluvions et des aterrissements dans lesquels la végétation se développe avec une énergie extraordinaire. Nous avons là une idée faible, à la vérité, de ce qu'était la végétation dans les premiers âges du monde, quand le terreau primitif était formé d'un semblable limon, qui devait être plus considérable que maintenant, en raison de la plus grande abondance des eaux et des déplacements qu'elles éprouvaient.

Ces alluvions, ces atterrissements sont composés, comme nous venons de le voir, d'un grand nombre d'éléments provenant de débris de roches et de matières végétales, qui, en réagissant les uns sur les autres, ont été élaborés ensuite par la végétation. La plupart des changements

qui s'opèrent dans ces réactions sont encore pour nous des mystères.

Les détritus, qui la plupart du temps sont inattaquables par l'action des acides, cèdent à des actions lentes, qui finissent par séparer tous les éléments pour former ensuite de nouveaux composés.

Il est d'autant plus important de se livrer à ces recherches, que les alluvions qui se déposent à l'embouchure des fleuves finissent par y former des terrains d'une grande étendue, qui sont une source inépuisable de richesses pour les peuples qui les cultivent.

Quelques exemples suffiront pour en donner une idée : les villes de Rozette et de Damiette, bâties sur le Delta, au bord de la mer, il y a environ mille ans, en sont aujourd'hui à deux lieues. De plus, il est bien constaté maintenant, depuis les travaux des savants qui ont accompagné l'expédition d'Égypte, que le sol de ce pays s'élève en même temps que son littoral s'étend, et que le fond du Nil s'élevant en même temps que les plaines adjacentes, l'inondation dépasse aujourd'hui les hauteurs où elle parvenait dans les siècles passés. A Éléphantine, par exemple, l'inondation dépasse maintenant de sept pieds les plus grandes hauteurs qu'elle atteignait sous Septime-Sévère. Il est hors de doute que la fertilité de l'Égypte dépend de ces aterrissements et du limon que dépose annuellement le Nil.

Les branches du Rhône présentent des accroissements semblables ainsi que le Rhin, le Pô, l'Arno, et en général tous les grands fleuves.

D'après ces observations, les recherches relatives au mode d'action des débris de roches sur les corps organiques ne peuvent manquer d'intéresser la physique générale.

Il n'est pas jusqu'aux dunes, ou petits monticules de sable que les vagues forment sur le bord de la mer, qui ne se rattachent à l'étude des actions lentes; car on sait qu'il arrive souvent que la nature du sable est telle, que, lorsque la mer rejette des débris de corps organi-

sés, il se forme peu à peu des agrégats qui sont livrés ensuite à la culture.

Quoique la plupart de ces décompositions soient couvertes encore pour nous d'un voile mystérieux, surtout quand la végétation y vient joindre son action, nous devons néanmoins faire des efforts pour tâcher de le soulever.

Avant l'époque où nous avons commencé à nous livrer à ce genre de recherches, on s'était peu occupé encore des actions lentes, faute de moyens nécessaires pour attaquer directement la question. On s'était attaché particulièrement à celles qui pouvaient être expliquées par les propriétés connues des forces chimiques. On savait, par exemple, depuis long-temps que les stalactites et autres concrétions du même genre étaient dues aux dépôts des eaux, qui tiennent en dissolution du carbonate de chaux par l'intermédiaire de l'acide carbonique. Cet acide se dégageant au contact de l'air, il était tout naturel que le carbonate de chaux se précipitât sous forme de concrétions ou en cristaux.

On savait également qu'il se formait, au fond de certaines eaux, des couches cristallisées renfermant des débris de corps organisés, comparables, jusqu'à un certain point, à celles des terrains de sédiments anciens ou des terrains marins ; le travertin de Rome en est un exemple. Les formations calcaires sont dues souvent à des dépôts accumulés par la mer et solidifiés par des stalactites. On doit rapporter à des causes semblables la formation du grès dans les environs de Messine, où le sable que la mer y rejette est agglutiné par un ciment calcaire. La roche à ossements humains de la Guadeloupe a une semblable origine; elle est composée de débris de madrépores rejetés par la mer et réunis par un suc calcaire. Je pourrais citer encore d'autres exemples de formations analogues qui ont été opérées en vertu de forces connues ; mais le nombre en est assez restreint.

On a remarqué avec raison que les mers actuelles ne jouissent plus, comme les mers anciennes, de la pro-

priété d'incruster les coquilles d'une pâte qui les transformait en calcaire, sans que leurs formes fussent altérées. Ce cas paraît rentrer dans les pseudomorphoses, dont nous aurons l'occasion de nous occuper en traitant de la cémentation.

§ II. *Des phénomènes volcaniques.*

Avant de pénétrer dans l'intérieur de la croûte du globe, je crois devoir parler des phénomènes volcaniques.

En attribuant une origine ignée à la terre, nous admettons que la chaleur a dû exercer une grande influence sur les phénomènes qui se sont passés dans les premiers âges du monde. Les éruptions volcaniques, qui étaient alors très-fréquentes, soulevaient les montagnes et bouleversaient la surface terrestre; aujourd'hui la croûte ayant acquis une certaine épaisseur, oppose une grande résistance à l'action des feux souterrains, qui ne nous donnent qu'une idée faible de leur puissante énergie dans les premiers temps. Nous devons néanmoins exposer ici leurs effets actuels, afin de pouvoir remonter, par la pensée, à ce qui se passait alors. Un bruit souterrain semblable à celui du canon, ou à un fracas de voitures roulant sur le pavé, des tremblements de terre, et assez fréquemment des changements dans l'état de l'atmosphère, tels sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique. Elle commence ordinairement par une colonne de fumée épaisse, qui s'élève à une hauteur prodigieuse, et finit, quand elle n'a plus de vitesse de projection, par se refouler sur elle-même, de manière à former une série de sphères de vapeurs aqueuses qui, se condensant par le froid des régions supérieures, retombent en pluies abondantes, accompagnées de tonnerres effroyables. Du milieu de cette colonne s'élance une gerbe de feu, visible à la partie supérieure. Cet ensemble de fumées et de flammes, sillon-

nées dans tous les sens par la foudre, forme le tableau le plus imposant que la nature puisse nous offrir. Bientôt après, il sort du cratère, avec une vitesse excessive, des pierres incandescentes et une quantité incroyable de cendres d'une si grande ténuité, qu'elles peuvent être transportées par le vent à des distances considérables. Celles du Vésuve, lors de l'éruption de 473, furent transportées, dit-on, jusqu'à Constantinople et sur les côtes d'Afrique. Ces cendres ne retombent pas toujours sèches sur le sol, car elles sont fréquemment pénétrées de vapeurs aqueuses. Des laves en ignition et des produits boueux arrivent ensuite. Ces laves proviennent des substances liquéfiées dans les foyers des volcans, et sont lancées en dehors par la force expansive des fluides élastiques qui se dégagent dans les mêmes foyers; leur surface est agitée par de forts bouillonnements, d'où s'échappent des gaz et de la fumée blanche formée de sel marin ou d'autres substances. Ces laves, en sortant par les bords du cratère, suivent les directions les plus favorables que le terrain leur présente. Au contact de l'air, leur surface, en se refroidissant, se solidifie et la lave continue à couler dessous jusqu'à ce qu'il se présente un obstacle; alors elle s'y arrête, s'y amoncelle, finit par monter sur la partie solidifiée et continue son cours comme avant, jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par un nouvel obstacle. Il arrive souvent que la lave s'accumule dans certains endroits, et la chaleur se conserve si long-temps, en raison du peu de conductibilité des éléments qui la composent, que Dolomieu assure l'avoir trouvée sensible au Vésuve, dans un amas formé depuis dix ans. Le dessus des laves est ordinairement scorifié et criblé de petites ouvertures, par lesquelles s'échappent les gaz renfermés dans l'intérieur.

Il existe une très-grande différence entre la température de la surface des laves et celle de l'intérieur; car on a plusieurs exemples de personnes qui ont traversé impunément des coulées de lave, quarante-huit heures après l'éruption, lorsque la couche supérieure était solidifiée et celle de dessous encore liquide.

Outre les phénomènes dont on vient de parler, il existe encore dans certains volcans des éruptions boueuses, auxquelles sont dus les courants de même nature qui suivent diverses directions sur les flancs des montagnes, comme les laves incandescentes. L'existence de ces éruptions a été constatée par M. de Humboldt dans les volcans en activité du nouveau monde. La remarque faite par ce célèbre voyageur d'une quantité innombrable de petits poissons rejetés, dans une éruption d'un volcan du Mexique, ne laisse aucun doute à cet égard; car si la lave eût été incandescente, il ne serait resté aucun vestige de la matière animale. Ces poissons étaient en si grand nombre que leur putréfaction a répandu dans l'air une odeur infecte qui a occasioné des maladies épidémiques. La lave qui renfermait les détritus de ces poissons s'est changée en une espèce de porphyre, que les naturels du pays exploitent pour s'en servir comme de combustible.

Il y a une différence bien marquée entre les terrains volcaniques de l'ancien monde et ceux du nouveau. Les premiers ont la forme d'un pain de sucre, et la matière est continuellement rejetée de manière à l'augmenter en hauteur; dans ceux du nouveau monde, il y a quelquefois soulèvement de terrain, et les éruptions se font par des cheminées dans l'axe du cône soulevé. De plus, les volcans de notre continent sont toujours dans des pays de montagnes, à peu de distance de la mer, tandis que ceux de l'Amérique sont situés assez loin des côtes et sur des plateaux assez élevés pour que les laves ne puissent s'épancher à leur surface.

Les éruptions d'un même volcan ont souvent lieu à des époques éloignées; on a remarqué qu'elles sont d'autant plus rares que les montagnes volcaniques sont plus élevées. Il y avait plusieurs siècles que le Vésuve n'avait vomi des flammes, lors de l'éruption de 79 de notre ère, dans laquelle Pline périt. La montagne et l'intérieur du cratère étaient recouverts d'arbres de la plus belle végétation. Les volcans qui s'éteignent se changent

souvent en soufrières ou montagnes qui dégagent du soufre, comme la Solfatare près de Pouzzole. Vers la fin des éruptions, il s'élève de la terre des miasmes infects, qui nuisent à la santé des hommes et des animaux.

Les phénomènes volcaniques déterminent souvent des changements dans la forme du sol; des parties de la surface s'élèvent subitement. M. de Humboldt rapporte que, dans une éruption volcanique à Lancerote près Chimansaga le 1er septembre 1730, des rochers pyramidaux s'élevèrent de la mer, augmentèrent en longueur et bientôt s'unirent à l'île. On doit rapporter à une origine semblable les îles nouvelles qui apparaissent quelquefois dans certaines mers. Souvent il se forme à la surface de la terre des fentes et des crevasses par lesquelles les forces volcaniques manifestent leur activité.

Des sources d'eaux acidulées sourdent quelquefois. D'autres sources déja existantes éprouvent des changements remarquables. Les masses de rochers que lancent les volcans sont ou des pierres volcaniques, des ponces, des scories, des fragments de laves, des masses vitrifiées, des cristaux amoncelés, des brèches, etc. Ces masses sont quelquefois projetées à des hauteurs considérables. Le Cotopaxi a lancé, en 1533, des rochers de trois à quatre mètres de diamètre.

Le Vésuve lance parfois du granite, du micaschiste et autres substances qui, n'ayant pas été altérées par le feu, font connaître la nature des terrains que traversent les matières volcaniques. Les gaz qui se dégagent de ce volcan sont les acides sulfureux et hydrochlorique, quelquefois l'acide carbonique, rarement l'azote. Le sel marin, le sel ammoniac, les chlorures de cuivre, de fer, l'acide borique, le soufre, le sulfure d'arsenic, se subliment dans les fissures des roches et sur les parois du cratère.

Les volcans du nouveau monde ne dégagent pas les mêmes gaz que le Vésuve.

M. Boussingault (1), qui a examiné la nature des fluides élastiques qui se dégagent des volcans situés entre le cinquième degré de latitude nord et la ligne équinoxiale, a reconnu que le volcan de Talima fournit de la vapeur d'eau, du gaz acide carbonique et du gaz acide hydrosulfurique, ainsi que les volcans de Puracé, de Pastoé et du Tuquères. Le volcan de Combal, situé très-près de la ligne équinoxiale, lui donna en outre de la vapeur de soufre, et comme produits accidentels, de l'acide sulfureux et de l'azote. On voit d'après cela, que l'acide hydrochlorique, l'hydrogène et l'azote ne font pas partie des gaz qui se dégagent des volcans de l'équateur américain.

Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur les phénomènes volcaniques, sur ces phénomènes dont la puissance était telle à des époques reculées, qu'ils ont été la cause de ces grandes catastrophes qui ont bouleversé la surface du globe.

On a donné successivement pour aliments aux feux volcaniques le soufre, les pyrites, les houilles et bitumes; mais il est bien démontré maintenant qu'aucune de ces substances ne peut les entretenir. Davy, aussitôt après la découverte des métaux des terres et des alcalis, jeta en avant cette idée, qu'il pourrait bien se faire que ces mêmes métaux existassent à de grandes profondeurs dans la terre, et que leur contact avec l'eau produisît tous les effets volcaniques connus. Ce principe fondamental étant posé, il raisonna ainsi : Les changements qui produisent les feux volcaniques ont lieu dans d'immenses cavités souterraines, où l'air pénètre jusqu'aux substances actives, long-temps avant que celles-ci atteignent la surface extérieure.

Le tonnerre souterrain, entendu à de si grandes distances sous le Vésuve, est presque une démonstration de grandes cavités souterraines, remplies de substances aériformes. Quand le volcan est tranquille, elles doivent se remplir d'air atmosphérique. L'air et la vapeur d'eau

(1) Annal. de Ch. et de Physique, t. LII, p. 5.

renfermés dans ces cavités, agissant sur les métaux des terres, sont la cause des phénomènes volcaniques. Si les laves peuvent être ainsi formées, le phénomène entier se trouve expliqué par l'action de l'eau de la mer et de l'air sur les métaux. Le voisinage des grands volcans, des côtes de la mer, vient à l'appui de cette explication. Quand ils en sont plus éloignés, comme ceux de l'Amérique du Sud, l'eau peut venir de grands lacs souterrains dont M. de Humboldt a signalé l'existence, en montrant des poissons dans des produits volcaniques. Davy, dans un ouvrage posthume, a modifié cette théorie, mais sans abandonner cependant l'hypothèse de la présence des métaux des alcalis et des terres dans l'intérieur de la terre. M. Gay-Lussac a fait à cette théorie plusieurs objections auxquelles il est difficile de répondre. Comment l'air pourrait-il pénétrer dans les foyers volcaniques, quand il y existe du dedans au dehors une pression que l'on peut évaluer à 300 atmosphères environ, puisqu'elle élève la lave, trois fois plus pesante que l'eau, à une hauteur de plus de mille mètres. Si l'air pouvait s'y introduire, les tremblements de terre, suivant la manière de voir de Davy, deviendraient impossibles. D'un autre côté, si les actions volcaniques étaient dues à la décomposition de l'eau par les métaux des alcalis et des terres, il devrait y avoir un dégagement énorme de gaz hydrogène; or, on n'aperçoit jamais aucune inflammation de ce gaz au-dessus du cratère. A la vérité, il pourrait se faire que l'hydrogène, en se combinant avec le chlore, formât de l'acide hydrochlorique; mais, dans ce cas, la quantité de cet acide devrait être plus considérable qu'elle n'est réellement.

M. Gay-Lussac pense que l'on pourrait supposer avec plus de raison que les phénomènes volcaniques sont dus à l'action des eaux de la mer sur les chlorures des métaux des terres et des alcalis, laquelle dégage probablement assez de chaleur pour vaporiser l'eau, décomposer le sel marin et produire tous les autres effets. Quant à la formation de l'acide sulfureux, il faut ad-

mettre qu'il existe avec les chlorures, des sulfures qui sont également décomposés par la haute température des réactions chimiques. Alors le soufre en vapeur s'élève avec les autres matières et se change en acide sulfureux, aussitôt qu'il a le contact de l'air.

Il est très-probable que l'eau de la mer pénètre dans les foyers volcaniques; mais pourquoi la lave ne sort-elle pas par les mêmes canaux conducteurs, puisqu'elle y trouverait une résistance moindre que partout ailleurs. On répond à cette objection, que les longues intermittences des volcans font présumer que l'eau pénètre peu à peu, par sa propre pression, dans des fissures imperceptibles et s'y accumule dans les vastes cavités que renferme la terre. Les feux volcaniques se rallument ensuite peu à peu, et la lave, après avoir obstrué les canaux par lesquels l'eau était arrivée, s'élève par son soupirail accoutumé.

Quant à la cause des tremblements de terre, le docteur Young en a donné une explication satisfaisante en l'attribuant à une très-forte onde sonore, excitée dans la masse solide de la terre par une commotion quelconque, laquelle onde se propage avec la même vitesse que le son. On conçoit bien l'ébranlement facile de toutes les particules d'une masse solide, en songeant que le choc, produit par la tête d'une épingle à l'un des bouts d'une longue poutre, se transmet distinctement à l'autre bout. En adoptant cette idée, on voit pourquoi la couche extrême de la terre, ne trouvant pas à transmettre son mouvement à d'autres couches, tend à se détacher de la masse ébranlée, ainsi que tous les objets qui s'y trouvent. On attribue aussi les phénomènes volcaniques à l'état d'incandescence de la terre à une certaine profondeur.

M. de Humboldt (1) a présenté quelques considéra-

---

(1) Voyage de Humboldt et Bonpland. 1re partie, relation historique, t. III, p. 627.

tions sur les volcans en général, qui sont d'autant plus précieuses qu'elles sont le résultat d'un grand nombre d'observations faites dans diverses parties du monde et dont plusieurs lui sont propres. Je me fais donc un devoir de les rapporter ici.

Suivant ce géologue célèbre, les volcans enflammés paraissent être l'effet d'une communication permanente entre l'intérieur de la terre en fusion et l'atmosphère. Sur la crête des Cordillères du nouveau monde, comme dans le sud de l'Europe et dans l'ouest de l'Asie, il existe une liaison intime entre l'action chimique des volcans proprement dits, qui produisent des roches, parce que leur forme et leur position permettent une issue plus facile aux matières en fusion, et celle des volcans de boue en général, lançant d'abord des blocs, des flammes et des vapeurs acides, puis vomissant plus tard des argiles boueuses, du naphte, de l'hydrogène mêlé d'acide carbonique et de l'azote très-pur. L'action des volcans manifeste cette même liaison avec la formation tantôt lente, tantôt brusque, des bancs de gypse et de sel gemme anhydre qui renferment du pétrole, de l'hydrogène condensé, du fer sulfuré et quelquefois des masses considérables de galène, comme au Rio-Hualagà, à l'est des Andes du Pérou. Elle la manifeste encore avec l'origine des sources thermales, le groupement des métaux, déposés à diverses époques de haut en bas dans les filons, dans les amas et dans la roche altérée qui avoisine les crevasses métallifères, enfin avec les tremblements de terre, dont les effets ne sont pas toujours dynamiques, mais qui sont accompagnés quelquefois de phénomènes chimiques, et avec les soulèvements instantanés et très-lents que l'on aperçoit après de longues périodes sur quelques parties de la surface du globe. Ce rapport intime entre des phénomènes si divers a jeté quelque jour, dans ces derniers temps, sur un grand nombre de questions de la physique du globe, dont la solution avait été regardée comme impossible. Il en résulte que l'analogie de faits bien observés nous porte à deviner ce qui s'est passé à

des époques reculées qui ont précédé les temps historiques. Cette action du dedans au dehors est aujourd'hui très-affaiblie et ne produit des roches qu'autour de petites ouvertures circulaires ou sur des crevasses longitudinales de peu d'étendue. Elle ne manifeste sa puissance intérieure à de grandes distances qu'en ébranlant la croûte de notre globe dans des directions qui restent les mêmes pendant un grand nombre de siècles.

Avant l'apparition de l'homme sur la terre, l'action de l'intérieur du globe sur la croûte solide a dû modifier la température de l'atmosphère et lui donner celle des régions tropicales. C'est dans les temps primitifs que les forces volcaniques venues de l'intérieur, plus puissantes que maintenant, se sont fait jour à travers la croûte solidifiée qu'elles ont crevassée et remplie de substances diverses.

L'époque des grandes révolutions géognostiques était celle où les communications entre l'intérieur et l'extérieur du globe étaient plus fréquentes et en même temps plus nombreuses, et où la tendance à établir ces communications a fait soulever, à différents âges et dans diverses directions, les chaînes de montagnes qui recouvrent maintenant la surface terrestre. On peut encore citer comme témoins de cette action souterraine des fluides élastiques, qui tendent à soulever les continents, cette grande dépression de l'ouest de l'Asie, dont la surface de la mer Caspienne et du lac Aral forme la partie la plus basse (50 et 32 toises au-dessous du niveau de l'Océan) et qui s'étend au loin dans l'intérieur des terres jusqu'à Saratow et Orenbourg sur le Jaïk. La formation de cette grande concavité de la surface, dans le N. O. de l'Asie, paraît être à M. de Humboldt en rapport intime avec le soulèvement des montagnes du Caucase, de l'Hindoukho et du plateau de la Perse qui borde la mer Caspienne au sud. Cette concavité de l'ancien monde est un pays cratère, comme le sont, sur la surface lunaire, Hipparque, Archimède et Ptolémée, qui ont plus de 30 lieues de diamètre.

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA CHALEUR TERRESTRE.

La chaleur exerçant une grande influence sur les phénomènes électriques, magnétiques et chimiques, il est naturel que nous exposions ici succinctement l'état de nos connaissances sur la distribution de la chaleur dans la terre et dans l'atmosphère où il se produit continuellement des phénomènes de ce genre. Cette branche de la physique n'est cultivée d'une manière philosophique que depuis le commencement de ce siècle, grace aux expériences et aux travaux de MM. de Humboldt, Fourier, Laplace et Poisson, qui lui ont donné une grande impulsion. Depuis lors, on a fait des observations thermométriques avec précision sur les hautes montagnes, dans l'intérieur des mines, dans les observatoires, sur toutes les mers et dans les pays qui ont été visités par les navigateurs. Dans ces derniers temps, M. Pouillet a coordonné ensemble toutes les parties dont se compose aujourd'hui cette branche de la physique et en a formé un chapitre qui est annexé à son Traité de physique.

On s'est d'abord appliqué à déterminer avec soin la température moyenne d'un lieu. Jadis Lahire, Mairan et autres observateurs se bornaient à prendre pour cette température, la demi-somme de la plus haute et de la plus basse température de l'année, mais on a reconnu depuis tout ce que cette méthode avait de défectueux. Aujourd'hui on commence par déterminer la température moyenne de chaque jour du mois. La somme de toutes ces moyennes, divisée par le nombre de jours de ce

mois, donne sa température moyenne; puis l'on passe à la température moyenne de l'année, qui est égale à la somme des moyennes de chaque mois divisée par 12; enfin on prend pour moyenne température du lieu, la somme de toutes les moyennes annuelles divisée par le nombre d'années.

M. de Humboldt est celui de tous les physiciens qui a donné le plus d'extension à cette branche de la physique, soit par ses propres observations, soit par la discussion de toutes celles qui sont connues. On lui doit un tableau (1) de la température moyenne de l'année, ainsi que de celle des mois d'octobre et d'avril, de lieux situés dans les quatre parties du monde, dans lequel on voit que les moyennes d'octobre se rapprochent assez de celles de l'année, même dans les pays dont les latitudes sont différentes.

Toutes les observations faites jusqu'ici dans quelque partie du globe que ce soit, tendent à prouver qu'il existe pour chaque lieu une température moyenne qui est invariable. C'est cette température que l'on cherche à déterminer en raison de son importance pour la physique du globe.

On savait depuis long-temps que, sur un même méridien, la température moyenne diminue de l'équateur au pôle et en s'élevant dans l'atmosphère; mais on a reconnu que ces deux causes ne sont pas les seules qui influent sur la température moyenne et qu'il est nécessaire de tenir compte encore de la distance à la mer, de la présence des montagnes, de la nature du sol, de son exposition, etc. On voit, d'après cela, combien on doit éprouver de difficultés à coordonner tous les résultats pour les rapporter à un principe général. On est parvenu néanmoins à mettre de l'ordre dans ce chaos, à l'aide de plusieurs principes, d'abord de la considération, dans chaque hémisphère, des lignes isothermes,

---

(1) Mémoires de la Société d'Arcueil, n° 33.

c'est-à-dire d'égale température, qui sont composées de tous les points du même hémisphère où la température moyenne est la même. Ces lignes, qui ont un cours irrégulier, ne coïncident pas par conséquent avec les parallèles. On a pris aussi en considération l'espace compris entre deux lignes isothermes, auquel on a donné le nom de bande isotherme.

Du petit nombre d'observations qui ont été faites sur la température moyenne de différents lieux près de l'équateur, on en a conclu que, sous cette ligne, cette moyenne est comprise entre 27°,5 et 28°, et qu'elle est modifiée par la grande étendue des mers équatoriales. Il en résulte que, près des tropiques, il se trouve des lieux où la température moyenne est sensiblement plus forte que sous l'équateur. Je n'entrerai pas ici dans la discussion des lignes isothermes sous diverses latitudes, attendu que, pour l'instant, il suffit que l'on sache que l'on en a deja déterminé un certain nombre sur diverses parties du globe.

On a maintenant des données sur la température des régions polaires depuis les excursions dans ces contrées des capitaines Franklin, Parry et Scoresby. Ces intrépides navigateurs ont trouvé une grande différence, à latitude égale, entre les températures moyennes en pleine mer et celles qui ont été observées à terre. A Melville-Island, par exemple, qui se trouve sous le 75e degré, elle est de — 18°,5, tandis qu'en pleine mer on l'a trouvée de — 8°,3. On en a conclu que sur les terres polaires la température de l'air est plus froide qu'en mer. En partant de ces données, on a trouvé que la température du pôle devait être de 25 à 30° au-dessous de zéro.

Les lieux qui sont situés sur la même ligne isotherme, sont loin de présenter les mêmes productions végétales et d'être soumis aux mêmes influences physiques et chimiques. Pour comparer ces différents lieux dont la température moyenne est la même, on a cherché comment la chaleur s'y distribuait suivant les jours, les mois et les saisons.

On les a distingués en climats constants, c'est-à-dire dont la température est peu différente dans les diverses époques de l'année; en climats variables et en climats excessifs, qui comprennent ceux dont les différences de température sont très-grandes. Ces éléments n'étaient pas encore suffisants pour la détermination de l'état calorifique d'un pays, on a pris encore en considération l'époque et la durée des grandes chaleurs et des grands froids, qui exercent une influence sur les productions de tout genre. Tout ce qui précède n'est relatif qu'à la température de l'atmosphère à la surface du sol; car si l'on pénètre au-dessous, on observe d'autres phénomènes. On a été conduit par-là à déterminer la température de la terre à diverses profondeurs; l'examen de cette question est d'une grande importance pour le magnétisme terrestre et les réactions chimiques qui peuvent s'opérer dans l'intérieur du globe.

Cassini avait déja remarqué dès 1671 que la température des caves de l'Observatoire de Paris n'éprouvait pas de variations sensibles dans le cours de l'année. En 1771, M. Cassini (1), membre actuel de l'Académie des sciences de l'Institut se livra à une suite d'expériences pour étudier ce phénomène et, en juillet 1783, il établit, de concert avec Lavoisier, dans les mêmes caves, un thermomètre très-sensible qui sert toujours aux observations. Depuis cette époque, la température s'est maintenue constamment à 11°,82. De ce résultat on a tiré la conséquence que, dans tous les lieux de la terre, il doit exister, à une certaine profondeur au-dessous du sol, une couche dont la température est constante et ne participe en rien des variations qui ont lieu à la surface du globe.

En général, il paraît que la température de la couche invariable d'un point quelconque du globe diffère très-peu de la température moyenne de ce point à la surface.

---

(1) Mémoires de l'Acad. des Scienc., 1776, p. 41.

A Paris, la différence de celle-ci à l'autre dépasse cependant un degré.

La courbure de la couche invariable est difficile à déterminer, attendu que plusieurs causes locales faisant varier sa distance à la surface, on serait forcé de faire un trop grand nombre d'expériences.

D'un autre côté, on s'occupe maintenant de déterminer les variations de la chaleur au-dessus de cette couche. Déja quelques observations ont été faites à Zurich, à Édimbourg et à Strasbourg (1), desquelles on a déduit quelques conséquences générales.

M. Arago s'occupe de cette question depuis quelques années; il a fait placer dans le jardin de l'Observatoire des thermomètres à des profondeurs successivement croissantes et dont il peut facilement observer les indications. Un de ces thermomètres descend jusqu'à 22 pieds. Les observations qu'il a déja recueillies ainsi que leur discussion ne pourront manquer d'intéresser vivement la science.

Nous devons encore dire que la température du sol, dans l'épaisseur de quelques lignes, n'est pas la même que celle de l'air ambiant, en raison du pouvoir conducteur et rayonnant des substances qui le composent. On a reconnu depuis long-temps que la surface du sol prenait ordinairement pendant le jour des températures plus élevées que celle de l'air et que pendant la nuit le contraire avait lieu.

Une question d'un ordre plus élevé a occupé les physiciens et les géomètres; c'est celle de l'accroissement de la température au-dessous de la couche invariable à mesure que l'on s'enfonce dans la terre. On avait remarqué depuis long-temps cet accroissement, mais on en ignorait au juste la cause. Boyle croyait qu'il était dû à la décomposition des pyrites; d'autres, qu'il prouvait l'existence d'un feu central. Pour s'assurer de ce fait,

---

(1) Éléments de Physique, t. II, 2e partie, p. 654. Pouillet.

on a porté des thermomètres à différentes profondeurs. Gensane est le premier qui se soit livré à des expériences de ce genre en 1740; il a trouvé effectivement, dans les mines de plomb de Giromagny, situées à peu de distance de Béfort, que la température allait en augmentant avec la profondeur.

Saussure, en 1793, fit des expériences analogues dans un puits qui avait été creusé à une très-grande profondeur à Bex, dans le canton de Vaud, par un gentilhomme saxon qui croyait y rencontrer des mines de sel. M. de Saussure trouva qu'à 108 mètres la température était de 14° 4 centigr., de 15°,6 à 183 mètres, et de 17°,4 à 220 mètres.

En 1791, M. de Humboldt, conjointement avec M. Freiscleben, fit des expériences dans les mines de Freyberg, qui les conduisirent aux mêmes résultats. Depuis, des observations du même genre ont été faites dans diverses parties du monde. M. Cordier a traité aussi cette question en 1827, dans un Mémoire où il a réuni un grand nombre d'observations, desquelles il a tiré les conséquences suivantes :

1° Au-dessous de la couche invariable, les températures restent également constantes à toutes les profondeurs pendant des années. 2° Dans tous les lieux où l'on a fait des observations au-dessous de cette couche, on a trouvé, sans aucune exception, des températures qui vont en croissant avec la profondeur. 3° Si l'on cherche à exprimer la loi suivant laquelle la température augmente avec la profondeur, on trouve des résultats très-différents pour les diverses localités. On a reconnu assez généralement qu'un degré d'accroissement dans la température correspond à une profondeur de 25 à 30 mètres au-dessous du sol.

On a fait bien des hypothèses pour remonter à la cause de cet accroissement de température; tantôt on l'a attribué à la chaleur produite par la présence des ouvriers et la combustion des lampes dans les mines, tantôt à

l'action que le soleil exerçait jadis sur le globe ou bien à des réactions chimiques qui ne cessent d'avoir lieu à de grandes profondeurs. Nous ne discuterons pas, pour l'instant, jusqu'à quel point quelques-unes de ces causes exercent une certaine influence sur le phénomène, nous dirons seulement que l'on est porté à croire que la chaleur primitive qui existe encore dans l'intérieur du globe est la cause, sinon unique, du moins la plus efficace des phénomènes observés. En partant de ce principe, la théorie mathématique a fait connaître les principales causes qui maintiennent dans toute l'étendue de la terre la distribution de la chaleur telle qu'on l'y observe. Cette théorie, qui a été fondée par M. Fourier, est un des beaux monuments scientifiques de ce siècle; elle est devenue ensuite le sujet des recherches analytiques de la part de MM. Laplace et Poisson. Deux causes influent sur la température de la terre et agissent très-inégalement, savoir le soleil, qui produit jusqu'à la couche invariable des variations de température diurnes et annuelles; les premières occasionnent les différences de température du jour et de la nuit, et les autres les saisons; puis une chaleur centrale, qui, en se propageant de couche en couche jusque dans l'atmosphère, établit une différence de température qui décroît depuis le centre de la terre jusqu'à la surface. Cette différence diminue avec le temps; il en résulte que le refroidissement du globe est très-lent. M. Fourier a trouvé que pour un siècle il est de moins de $\frac{1}{57600}$ de degré.

Je vais rapporter ici les conséquences générales que M. Fourier a tirées de sa savante analyse (1), et telles qu'elles ont été formulées par M. Pouillet :

1° Toute la chaleur qui est au-dessous de la couche invariable, est une chaleur primitive que la terre possède depuis son origine.

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. III, p. 370 et suiv.; Pouillet, Traité de Phys., t. II, 2e partie, p. 695.

2° Cette chaleur est constante et excessivement grande dans son noyau central ; à une certaine distance du centre, elle commence à diminuer suivant des lois régulières jusqu'à la couche invariable.

3° Cet équilibre intérieur que nous observons aujourd'hui change avec le temps, et il changera sans cesse jusqu'au moment où la chaleur primitive sera complétement dissipée par sa surface. Mais ces changements s'accomplissent avec une telle lenteur, qu'il faut une longue série de siècles pour qu'ils deviennent sensibles.

4° Ce flux de chaleur venu de l'intérieur, quelque grand qu'il soit, ne peut modifier d'une quantité appréciable ni la température moyenne de la surface elle-même, ni l'ordre des températures qui s'établit suivant les saisons, dans toute l'écorce de la terre supérieure à la couche invariable. La chaleur qui provient ces températures provient uniquement de l'action du soleil ; elle est accumulée pendant une partie de l'année et dissipée pendant l'autre, de manière qu'il s'établisse à la fin une exacte compensation.

Les physiciens se sont occupés aussi de la distribution de la chaleur dans l'atmosphère. Ils ont reconnu qu'elle décroît à mesure que l'on s'élève au-dessus de la terre et que ce décroissement ne se fait pas d'une manière régulière, attendu qu'il est dépendant de plusieurs causes locales et atmosphériques.

M. de Humboldt, qui a fait un grand nombre d'observations auprès de l'équateur, dans les Andes de Quito et vers l'extrémité boréale de la zône torride dans les Cordillères du Mexique, a reconnu que, sur les flancs des montagnes, le décroissement de la chaleur n'est pas proportionnel à la hauteur. Il a trouvé qu'il était plus petit entre 1000 et 3000 mètres, ce qui comprend la partie de l'atmosphère où se trouvent ordinairement les nuages, dans les régions équatoriales. Cet effet tient à ce que les vapeurs aqueuses ont un pouvoir absorbant plus grand pour la chaleur que l'air très-pur.

La température des eaux a été aussi l'objet de leurs

investigations. Ils ont reconnu que celle des eaux thermales éprouve peu de variation dans les diverses saisons de l'année, et que, dans notre hémisphère, où cette variation ne va pas au-delà de 1 à 2°, elles atteignent leur maximum en septembre et leur minimum en mars. La chaleur des eaux thermales s'élève quelquefois jusqu'à celle de l'ébullition. On ne sait pas encore au juste si elle doit être attribuée à la grande profondeur d'où elles proviennent ou à des causes locales inconnues. Ce qu'il y a de certain, c'est que, dans le voisinage des volcans, il y a fréquemment des eaux thermales, ce qui porte à croire qu'il existe une certaine relation entre eux.

On a cherché aussi à établir les rapports qui peuvent exister entre la température moyenne de l'air et la température des eaux thermales. On a reconnu que, dans la zône torride, elle était en général un peu plus haute que celle des sources et que le contraire avait lieu dans la zône tempérée. M. Boussingault a cherché si la température des eaux thermales était sujette à varier. M. de Humboldt, en 1800, avait trouvé la température de la source de Mariara de 59°,3, MM. Boussingault et Rivero l'ont trouvée, en 1823, de 64°. A las Strincheras, dans le plus grand des deux bassins, M. de Humboldt a trouvé 90°,4, et 23 ans plus tard les mêmes observateurs ont trouvé 92°,2 pour la température d'un bassin et 97 pour la température de l'autre. Il semble donc que, depuis 23 ans, la température des sources de Mariara et de las Strincheras s'est accrue de plusieurs degrés. Il faut dire aussi que, dans ce laps de temps, un tremblement de terre considérable a bouleversé ces contrées en 1812. Quant aux eaux qui ne sont pas thermales, leur température dépend des terrains qu'elles traversent. On a la preuve de ce fait depuis que l'on creuse des puits artésiens. La température des eaux qui jaillissent sur le sol paraît être celle des nappes profondes qui les fournissent, puisque leur température, qui est invariable, est d'autant plus grande que le puits est plus profond.

Les navigateurs, chargés de recherches scientifiques,

s'occupent de déterminer la température de la mer non-seulement à sa surface, mais encore à diverses profondeurs. Ils ont déja reconnu que la température de l'air, loin des côtes, éprouve moins de variations que sur les continents; que sur les mers équatoriales, la différence entre le maximum et le minimum de la température du jour ne s'élève pas au-delà de 1 à 2°, tandis qu'elle est de 5 ou 6° sur les continents.

Il en est encore à peu près de même sur mer, dans les régions tempérées entre 25 et 30°, tandis que sur les continents, la différence va quelquefois jusqu'à 12 ou 15°, comme à Paris.

Quant à la température minimum, elle a lieu, comme à terre, à l'instant où le soleil se lève.

Ils ont cherché aussi à comparer la température de l'air à celle de la surface de l'eau; de leurs observations on peut conclure qu'entre les tropiques, l'air, dans les plus hautes températures, est en général plus chaud que la surface de l'eau. On peut en voir la preuve dans les tableaux que M. Arago a publiés dans l'Annuaire du Bureau des longitudes pour 1825.

M. le capitaine Duperrey a été conduit à un résultat inverse en prenant la température de l'air et de l'eau de quatre heures en quatre heures et comparant ensuite ensemble toutes ces températures.

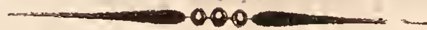
Si l'on s'écarte de l'équateur, on trouve que l'air devient moins chaud que la surface de l'eau, et que, dans les régions polaires, il est toujours plus froid.

Ils ne se sont pas bornés à déterminer la température de la mer à sa surface, ils ont voulu aussi savoir comment elle variait à diverses profondeurs. Ils ont d'abord trouvé ces deux faits généraux : entre les tropiques, la température diminue avec la profondeur. Dans les mers polaires, c'est l'inverse. Ce dernier fait est dû aux observations des capitaines Scoresby, Ross, Parry, dans les hautes latitudes.

Dans les mers tempérées qui se trouvent entre 30° et 70° de latitude, la température est d'autant moins dé-

croissante que la latitude devient plus grande. On commence déja à la trouver croissante à peu de distance de 70°. Nous n'entreprendrons pas de discuter les causes qui peuvent faire varier la distribution de la chaleur dans la masse des eaux de la mer, car nous sortirions du but que nous nous sommes proposé dans cette notice. Nous nous bornerons à dire que, sous l'équateur, à 1000 brasses de profondeur, la température est seulement de 6 à 7°, tandis que vers les pôles, à 70 brasses de profondeur, elle s'élève à 2 ou 3°.

Voilà à peu près l'état de nos connaissances sur la répartition de la chaleur dans l'intérieur du globe, à sa surface, dans les masses d'eau qui la recouvrent, ainsi que dans l'atmosphère à diverses hauteurs. Nous le répétons, la distribution de la chaleur dans ces diverses parties est indispensable, si l'on veut se rendre compte un jour de l'influence qu'elle exerce sur les phénomènes de magnétisme terrestre et les actions électro-chimiques, terrestres et atmosphériques.



CHAPITRE QUATRIÈME.

DES DIVERSES FORMATIONS DONT SE COMPOSE LA CROUTE DU GLOBE.

Après avoir rapporté les conjectures les plus probables sur la formation de notre planète et les causes qui ont donné à sa surface sa configuration actuelle ; après avoir exposé aussi l'état de nos connaissances sur les phénomènes volcaniques et la distribution de la chaleur dans la terre et dans l'atmosphère, il s'agit de pénétrer de nouveau dans l'intérieur de son enveloppe, pour connaître la nature des diverses parties dont elle se compose, afin de rattacher, s'il est possible, les phénomènes anciens à ceux qui se passent de nos jours ; il est nécessaire pour cela de préciser les faits plus que je ne l'ai fait précédemment. Néanmoins je n'ai nullement l'intention de décrire géologiquement toutes les formations et de faire ressortir toutes les différences qui existent entre elles, de manière à donner une description géologique complète. Je me bornerai à exposer les principales formations groupées dans un ordre méthodique, en m'attachant particulièrement aux faits qui peuvent nous éclairer sur les causes de leur production. Ainsi je m'abstiendrai de décrire les grandes commotions purement physiques. L'observateur qui se rend compte de la formation, de la constitution et de la nature de tous les terrains, reconnaît sur-le-champ que l'on peut les partager en deux classes relativement à la dernière révolution du globe : **terrains antidiluviens, terrains postdiluviens.**

Les premiers se divisent en terrains de transport d'alluvions ou terrains meubles, et les autres en terrains tertiaires, secondaires, intermédiaires ou de transition, primitifs et volcaniques. Il reconnaît encore que les formations calcaires des terrains tertiaires, secondaires et de transition, reposent ordinairement sur des grès : c'est un caractère distinctif des roches formées par dépôt ou sédiment, qu'il est important de noter, parce qu'il annonce que les parties les plus grossières dans chaque formation se sont précipitées les premières.

Les formations diverses qui composent ces terrains se partagent encore en deux grandes classes, en terrains stratifiés ou à couches, dont la structure, compacte ou grossière, annonce des dépôts qui se sont opérés lentement ou avec violence, et en terrains qui, ne présentant aucune stratification, sont le résultat d'une cristallisation aqueuse ou ignée. Ceux-ci sont souvent épanchés à la surface des premiers, par l'effet d'un soulèvement qui a déterminé la rupture de quelques points par lesquels la matière s'est fait jour.

Je ferai encore remarquer que, depuis les temps historiques les plus reculés, on n'a aucun exemple de grands phénomènes géologiques, tels que des soulèvements de chaînes de montagnes, des formations de masses étendues de granite, de calcaire saccharoïde, de calcaire compacte, quoique cependant on ait des exemples de formations de calcaire plus ou moins semblable à ce dernier dans l'Océan Pacifique. Les formations de ce genre n'ont eu lieu qu'en petit et sont en général le résultat de forces agissant lentement. On conçoit effectivement, comme je l'ai déja dit, que la croûte du globe, ayant acquis une certaine épaisseur, offre plus de résistance à l'action des feux souterrains et s'oppose à des soulèvements et à ces grandes ruptures par lesquelles s'échappaient jadis ces torrents de matière en fusion qui constituent une partie de nos terrains anciens. La surface de la terre éprouve donc maintenant un état de repos et de tranquillité qui diffère totalement de l'état de

tourmente qui a produit les granites, les gneiss et les schistes, et a soulevé les grandes chaînes de montagnes. Quand je dis un état de repos, je ne prétends pas que la nature inorganique soit inerte; elle agit, mais d'une manière lente et successive, dépendante d'une température moins élevée que celle qui régnait autour du globe dans les premiers âges du monde et de plusieurs causes que je ne puis mentionner ici.

Je commencerai par exposer les terrains postdiluviens, qui se présentent à nous quand nous voulons pénétrer dans la terre.

§ Ier. *Terrains d'alluvion et d'atterrissement.*

Les terrains les plus nouveaux sont des dépôts ou des alluvions, qui se forment encore de nos jours à la surface du globe et qui contiennent des débris de végétaux et d'animaux actuellement existants et à peine altérés, ainsi que des restes d'ustensiles à l'usage de l'homme. On trouve dans cette formation : de l'humus ou terre végétale, des tourbes herbacées et ligneuses; des alluvions limoneuses, marneuses ou sablonneuses, desquelles s'exhalent souvent des émanations putrides; des alluvions caillouteuses que l'on rencontre dans les vallées et sur les bords des cours d'eau; des concrétions calcaires, qui comprennent les stalactites, les pisolithes, les travertins modernes. Les formations siliceuses de cette époque sont rares. Elles proviennent en général des vapeurs d'eau sortant des cratères ou de jets d'eau bouillante, comme en Islande, recouvrant tout le terrain qui borde l'ouverture d'où ils s'échappent, d'une couche étendue et épaisse de silex concrétionné.

On a découvert dans les anciens conduits des sources du Mont d'Or, des rognons tuberculeux qui ont beaucoup d'analogie avec les silex.

M. Berthier (1) a trouvé qu'ils étaient formés de

---

(1) Annal. des Mines, 1822.

silice, d'oxide de fer, de carbonates de soude et de chaux.

§ II. *Des eaux minérales et des corps combustibles.*

Les eaux minérales apportent de l'intérieur sur la surface, des sels et des acides dont elles se chargent en traversant diverses roches et qu'elles retiennent en dissolution ou abandonnent suivant leur solubilité.

Le sel marin se trouve en dissolution non-seulement dans les eaux de la mer, mais encore dans celles d'un grand nombre de lacs. On a remarqué que ceux-ci se trouvent en général à peu de distance des terrains salifères, qui probablement leur fournissent le sel contenu dans leurs eaux ; elles renferment aussi souvent du sulfate de soude. Le carbonate de soude et le borax existent dans les eaux; de certains lacs. L'alun s'effleurit à la surface ou dans les fissures de certaines roches alumineuses. Le nitrate de soude se trouve, au Pérou dans le district d'Atacama, en couches minces près de la surface du sol et recouvert d'alluvions modernes. Les nitrates de potasse, de chaux et de magnésie, existent dans des lacs ainsi que dans les plaines sableuses de Hongrie, de l'Ukraine, de la Podolie, du littoral de la mer Caspienne, de la Perse, de l'Égypte, etc., dans les puits creusés dans ces terrains ainsi que dans les grandes villes. Les puits de Stockholm contiennent une grande quantité de nitre. Le nitrate de potasse se forme sur les vieux murs, les murailles des écuries et des cours, etc., etc. Le sulfate de magnésie se rencontre en efflorescences sur certaines roches calcaires ou certains schistes pyriteux, et les sulfates de cuivre et de fer dans les galeries où l'on exploite des pyrites de cuivre et de fer. Enfin le sulfate et le carbonate de chaux sont dissous par les eaux qui renferment de l'acide carbonique, puis déposés ensuite sur le sol, quand elles ont perdu cet acide.

L'acide sulfureux se trouve dans les terrains volcaniques; l'acide hydrosulfurique est un des gaz qui se dé-

gagent des cratères ainsi que l'acide hydrochlorique. L'acide sulfurique se trouve dans les eaux qui découlent des terrains volcaniques, comme on en a des exemples dans l'Amérique du Sud et dans l'île de Java. L'acide carbonique est aussi au nombre des produits gazeux des volcans et se trouve encore dans un grand nombre de localités, même dans les terrains tertiaires. L'acide borique se dégage par voie de sublimation du stromboli, on le recueille aussi dans les lagonis des environs de Sienne en Toscane.

Le soufre, le sélénium, l'arsenic, l'hydrogène et le pétrole se dégagent de la terre très-probablement par l'effet des feux souterrains. Le soufre est le plus abondant des corps combustibles, mais néanmoins sa quantité est faible en comparaison de celle que l'on tire des terrains de sédiment ancien, des couches de pyrite, etc., car on trouve en Sicile des bancs de soufre étendus de plusieurs mètres d'épaisseur, ainsi que dans plusieurs autres localités.

La plus grande partie du soufre qui se forme aujourd'hui a une origine volcanique; néanmoins certaines eaux minérales froides et chaudes qui le tiennent en dissolution, le laissent précipiter en coulant sur le sol. On observe des dépôts de ce genre à Enghien près Paris, à Aix-la-Chapelle, Aix en Savoie, Balaruc, Tivoli, etc.

Le sélénium et l'arsenic ne se trouvent en petite quantité que dans le soufre des terrains volcaniques. L'hydrogène carboné et sulfuré se produisent continuellement; le premier dans les lieux marécageux, le second dans les matières animales en décomposition; il se dégage aussi des cratères des volcans du nouveau monde. Le bitume existe en abondance dans les terrains de sédiment, les houilles, etc., et les eaux de quelques pays.

Je ne parle pas des autres produits qui se forment journellement, attendu que j'y reviendrai à l'occasion des changements qui s'opèrent dans différentes roches; mais je dois placer ici le précis de ce que nous savons sur le contenu des eaux minérales qui se déversent continuellement sur la surface du globe.

Les eaux thermales se divisent en deux classes : l'une comprend celles qui se trouvent dans le voisinage des volcans anciens ou maintenant en activité, et l'autre les eaux qui en sont éloignées. Les premières renferment beaucoup de gaz acide carbonique, quelquefois du gaz hydrogène sulfuré, des chlorure, sulfate et carbonate de soude; les secondes contiennent presque toujours une petite quantité d'hydrogène sulfuré, des chlorures de chaux et de magnésie, mais nullement de carbonate de soude.

On doit à M. Berthier des analyses d'eaux minérales, en particulier de celles du Mont-d'Or et de Saint-Nectaire, qui contiennent les mêmes éléments, savoir : les trois sels mentionnés ci-dessus qui se trouvent dans les eaux que l'on rencontre dans des pays d'anciens volcans ; en outre des carbonates de chaux et de magnésie, de la silice et de l'oxide de fer. Ces eaux laissent dégager abondamment du gaz acide carbonique, surtout celles de Saint-Nectaire, qui en sont sursaturées.

Le même chimiste a trouvé dans des eaux minérales de Hombourg, situées à peu de distance de Francfort-sur-le-Mein, des chlorures de sodium, de calcium, de magnésium, du sulfate de chaux, des carbonates de chaux et de magnésie, de l'oxide de fer et de la silice. Dans les eaux de Creutznach près Bingen, l'analyse lui a donné les mêmes chlorures, les mêmes carbonates, de l'oxide de fer et de la silice, sans sulfate de chaux. Les eaux minérales de la Suède (1), telles que celles de Medevi, de Satra, Porla, etc., contiennent du carbonate de fer avec ou sans alcali. Elles contiennent aussi de l'azote sans oxigène, ce dernier gaz probablement ayant été absorbé par le fer ou la matière organique.

L'eau minérale de Ronneby donne à l'analyse du protosulfate de fer, des sulfates d'alumine et de potasse, de soude et d'ammoniaque avec des traces d'un sel à base de zinc. La plupart des eaux en Allemagne renferment

(1) Traité de Chimie, t. VIII, p. 79.

une quantité de gaz acide carbonique égale au volume de l'eau ; telles sont celles de Seltz, de Pyrmont, etc. Celles d'Aix-la-Chapelle contiennent en outre de l'hydrogène sulfuré, du sulfure de sodium avec du bicarbonate de soude.

Il paraît certain que, lorsque ces eaux traversent les fissures des roches, elles dissolvent des substances qui les composent, en d'autant plus grande quantité que la température est plus élevée. Elles nous apportent, outre les substances ci-dessus mentionnées, des matières extractives dont on ne connaît pas encore l'origine, mais dont on peut se rendre compte de la formation en raison de la présence de l'azote dans plusieurs eaux minérales.

M. Berzelius (1) fait observer que les substances transportées par les eaux minérales ont été enlevées à de grandes distances, attendu qu'il en sort, dans diverses sources, une quantité si prodigieuse, qu'il serait impossible qu'elle provînt des alentours de la source. Il rapporte, à ce sujet, qu'il coule annuellement avec l'eau de Carlsbad 746,884 livres de carbonate de soude et 1,132,923 livres de sulfate de soude, sans compter les autres substances qui accompagnent ces deux sels. Cette grande quantité de sel n'a pu être enlevée aux roches qu'à des distances plus ou moins grandes de la surface de la terre. Il est donc à peu près démontré qu'il existe une action chimique constante de la part des eaux thermales dans l'intérieur de la terre sur les différentes roches qu'elles rencontrent. C'est ce motif qui m'a engagé à étudier l'action des eaux minérales sur les roches, recherches auxquelles j'ai encore été conduit par l'étude des actions lentes, qui rentrent jusqu'à un certain point dans le domaine de l'électro-chimie et dont je donnerai une idée plus loin.

Les eaux de source en général contiennent, comme

---

(1) Traité de Chimie, t. 1, pag. 445.

nous l'avons déja vu, une certaine quantité d'acide carbonique, à l'aide de laquelle elles tiennent en dissolution différents sels terreux et des oxides de fer et de manganèse qu'elles déposent aussitôt qu'elles ont eu le contact de l'air. Ces dépôts donnent naissance à des tufs. Il résulte de là que les eaux des fleuves et des ruisseaux, à part les matières organiques qui peuvent s'y trouver, sont plus épurées que celles des sources.

L'eau de mer, en raison de sa composition, peut être considérée comme une eau minérale, puisqu'elle tient en dissolution 3 ou 4 pour cent de son poids de matières salines formées de chlorure de sodium, qui s'y trouve pour environ 2 $\frac{2}{3}$, de chlorure de calcium et de magnésium, de sulfate de soude et même de chlorure et de sulfate de potasse, comme M. Wollaston l'a observé. On n'y a trouvé jusqu'ici aucune trace de nitrate; quant au carbonate de chaux qui s'y trouve, on suppose qu'il sert aux mollusques pour la formation de leur coquille.

La cause de la salure de la mer n'est pas connue; on la rapporte à l'existence de vastes mines de sel gemme qui se trouvent dans le fond des mers. La salure varie en raison de la proximité des fleuves. On a remarqué que, dans les golfes, tels que la mer Baltique et la mer Noire, elle est moins forte que dans le grand Océan. Dans la Méditerranée c'est le contraire. Dans les régions polaires elle est moins forte que dans les pays équatoriaux; mais elle y augmente avec la profondeur, de sorte qu'à quelques pieds au-dessous de la surface, elle est la même que partout ailleurs.

On doit à M. Boussingault (1) des considérations intéressantes sur les eaux thermales des Cordillères, qui jettent quelque jour sur la cause de leur température et celle des substances qu'elles tiennent en dissolution. Les faits qu'il a observés sur plusieurs points des Cordillères,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LII, p. 181.

tendent à prouver que la chaleur des eaux thermales est d'autant moindre que leur hauteur est plus considérable; que dans cette contrée, la cause locale qui occasionne les phénomènes volcaniques, exerce aussi une influence sur la température des eaux, et que les eaux thermales paraissent avoir leur origine dans les foyers volcaniques. Pour voir jusqu'à quel point cette supposition était admissible, M. Boussingault a soumis à l'analyse les eaux thermales des sources qui sont voisines des volcans, afin de s'assurer si les gaz qu'elles contiennent sont de même nature ou non que ceux qu'il avait recueillis dans les volcans. Ce rapprochement lui a semblé suffisant pour résoudre la question relative à l'origine des eaux thermales. Il a trouvé 1° que les eaux sulfureuses de Juan, près du volcan de Tolima, dont la température est de 32°, ne renferment que des gaz acides hydro-sulfurique et carbonique; celles de Toch dans le Quindiù de l'acide carbonique en grande quantité, du carbonate de chaux et du chlorure de calcium; 2° que l'Agua Tibia, à peu de distance du volcan de Purmé, dont la température est de 36°, renferme les mêmes gaz, ainsi que les eaux de Coconuco, qui contiennent en outre du sulfate de soude, du chlorure de sodium, du bicarbonate de soude et du carbonate de chaux. Enfin de ces faits et d'autres qu'il est inutile que je rapporte ici, M. Boussingault en tire la conséquence que les gaz contenus dans les eaux thermales dont les sources existent dans le voisinage des volcans, renferment du gaz acide carbonique et du gaz acide sulfurique, comme les vapeurs gazeuses qui se dégagent des cratères. Il s'ensuit que les eaux thermales doivent leur température au feu souterrain, et les sels qu'elles renferment aux matières volcaniques avec lesquelles elles ont été en contact. En admettant cette dernière hypothèse, il regarde l'acide carbonique comme le résultat de la décomposition des carbonates de chaux et de soude par la chaleur, ou de leur réaction sur des substances siliceuses ou alumineuses. Il attribue la formation de l'acide hydro-sulfurique à la réaction de la vapeur d'eau

sur le sulfure de sodium. Il a cherché ensuite, en partant toujours du même principe, quelles sont les réactions auxquelles a participé le chlorure de sodium qui se trouve dans les eaux thermales et dans les foyers volcaniques. On sait que les chlorures alcalins, quand ils se trouvent en contact à une haute température avec la vapeur d'eau et des matières siliceuses, laissent dégager du gaz acide hydro - chlorique. A la vérité, M. Boussingault n'a pas observé ce gaz dans les fluides élastiques qui se dégagent des volcans de l'équateur, mais il peut se faire, comme il le remarque, que l'absence de cet acide tienne à la même cause qui l'empêche de se trouver à l'état libre dans les eaux thermales; mais puisque l'acide hydro-chlorique décompose les carbonates, si ceux-ci existent réellement dans les foyers volcaniques, comme l'expérience tend à le démontrer, à mesure que cet acide prend naissance, il doit décomposer les carbonates et donner lieu à un dégagement d'acide carbonique que l'on retrouve et dans les eaux et dans les fluides élastiques qui se dégagent par les cratères. Suivant cette manière de voir, il ne se dégagerait du gaz acide hydro-chlorique dans les volcans que là où les chlorures ne seraient pas mélangés avec les carbonates. M. Boussingault pense donc que les acides hydro-chlorique et carbonique ne sauraient se rencontrer à l'état de mélange qu'autant que les chlorures alcalins mêlés au carbonate seraient prépondérants.

M. Daubeni, professeur de chimie à l'Université d'Oxford, a présenté à la Société royale de Londres, dans la séance du 19 décembre 1833, un Mémoire sur la quantité et la qualité des gaz dégagés des sources thermales de Bath. Il a trouvé que les quantités dégagées dans un temps donné sont très-variables et indépendantes des erreurs d'observation. Ces variations ne paraissent avoir aucune connexion avec les variations de l'atmosphère. Les quantités d'acide carbonique qui se trouvent dans les gaz dégagés à différentes époques, sont sujettes aussi à de grandes variations. M. Daubeni

pense que la grande quantité d'azote qui se dégage des eaux thermales et l'absence complète d'hydrogène carburé ou phosphoré sont contraires à l'opinion des géologues qui veulent que l'azote dégagé des volcans et des sources provienne de l'air atmosphérique tenu en dissolution dans l'eau, et qui aurait perdu son oxigène par suite de sa réaction sur des matières animales ou végétales. Il paraît disposé à admettre que le manque d'oxigène doit être attribué à sa réaction sur une base qui a donné naissance à un composé qui est difficilement volatile par la chaleur. Suivant ce chimiste, l'acide carbonique serait le résultat de la calcination des carbonates terreux, et non de la combustion des matières carbonacées.

§ III. *Formations antidiluviennes.*

Ces formations comprennent tous les terrains formés depuis la consolidation de l'écorce du globe jusqu'à la révolution qui a donné à nos continents la forme qu'ils ont maintenant, et a placé les mers dans les bassins qu'elles occupent. Si l'on connaît la nature des roches et celle des minéraux qu'elles renferment, il n'en est pas de même des causes qui les ont produites et de celles qui ont donné naissance aux phénomènes de tout genre qui ont accompagné cette production.

§ IV. *Terrains tertiaires.*

Ces terrains sont formés d'alternatives de formations d'eau douce et marines. Les formations les plus superficielles portent l'empreinte d'un dépôt qui s'est opéré dans les eaux plutôt brusquement que tranquillement, et dont les parties, qui sont plus ou moins volumineuses, sont réunies par un ciment. On distingue d'abord : 1° les terrains limoneux, composés de parties meubles déposées en sédiments ordinairement horizontaux ; 2° les terrains détritiques, comme les désigne M. Brongniart,

qui comprennent les galets, les poudingues, les substances minérales qui paraissent avoir été arrachées des mêmes terrains; les blocs erratiques qui sont répandus en plus ou moins grande quantité sur des plaines, sur des pentes et même sur des crêtes de montagnes : ces blocs appartiennent aux roches les plus anciennes, et sont déposés sur des terrains plus nouveaux et éloignés des chaînes de montagnes d'où ils sortent et dont ils sont séparés par de grandes vallées et même des bras de mer. Quelques-uns de ces blocs ont quelquefois 1500 mètres cubiques. La force qui les a transportés à de grandes distances a dû être telle, qu'il nous est impossible de nous en faire une idée.

Vient ensuite le grès coquillier, qui se trouve au-dessus du niveau des mers jusque dans les plus hautes vallées; il est composé de débris de coquilles, de sable et même de coquilles entières qui sont dans un état assez parfait de conservation, et dont les espèces se trouvent dans les mers actuelles.

Les géologues ont retrouvé cette formation dans un grand nombre de localités, et toujours accompagnée de circonstances à peu près semblables de position et de hauteur.

On rapporte à la même formation le remplissage de fentes et de cavités qui se trouvent dans des roches calcaires de la formation jurassique. Ces remplissages constituent les brèches osseuses, les brèches ferrugineuses et les dépôts limoneux à ossements.

Après la formation de ces brèches, M. Brongniart place celle des terrains généralement meubles ou faiblement agrégés, composés de matières terreuses, de sables et graviers fins, et même de galets qui sont très-répandus sur la surface du globe. La base de cette agrégation est en général un sable quartzeux ferrugineux. Cette formation remplit le fond des vallées et s'étend quelquefois sur des plaines ou des plateaux considérables. On y rencontre du quartz hyalin, des améthystes, du jaspe, du fer titané, des corindons, des spinelles, de l'or, du platine, etc., etc.

Se présentent ensuite les terrains de sédiment, qui forment une certaine étendue de l'écorce du globe, et dont la structure est en général stratifiée. C'est là où l'on rencontre le plus de débris organiques, appartenant surtout aux mollusques testacés.

En raison des corps organiques qu'ils renferment, ces terrains portent tantôt l'empreinte d'une formation d'eau douce, tantôt celle d'une formation marine, et quelquefois celle d'une formation mixte, puisque l'on trouve dans celle-ci des coquilles marines et fluviatiles. On rapporte aux premiers les calcaires concrétionnés, les calcaires lacustres supérieurs au gypse des bassins de Paris, la marne calcaire, le silex meulière.

On trouve au-dessous les terrains marneux sableux marins, dont on voit le type dans le bassin de Paris; le grès blanc de Fontainebleau, qui renferme de l'oxide de fer, de l'oxide de manganèse en dendrites. On y rapporte aussi la mollasse, cette roche composée de sable, de calcaire, d'argile et de mica, et dont la texture est presque sans consistance, le calcaire moellon qui est sableux et les marnes marines.

On arrive ensuite à la formation gypseuse avec ses marnes marines et fluviatiles qui séparent les lits de gypse.

On n'y rencontre ordinairement ni filons ni vaines métalliques, mais bien du peroxide de manganèse terne ainsi que quelques dépôts de lignite peu puissants.

Les roches qui forment ces terrains sont en général calcaires et siliceuses. La magnésie y est assez abondante. On y trouve aussi des sulfates de chaux, de strontiane et une petite quantité de soufre. Les marnes supérieures renferment des palmiers lymniques, du sulfate de strontiane et le gypse à ossements de quadrupèdes, entre autres ceux de palœtherium, qui servent à caractériser cette formation.

La texture de ces terrains est tantôt sédimenteuse, tantôt cristalline, et indique un mode de formation autant chimique que sédimentaire. Ce terrain est en

strates horizontales et parallèles surtout dans ses parties supérieures et marneuses. Il forme ou des plaines basses étendues ou des plateaux peu élevés, ou enfin des buttes coniques.

Depuis les travaux de MM. Cuvier et Brongniart d'une part, de Constant Prévost de l'autre, sur les terrains tertiaires du bassin de Paris, on considère les terrains d'eau douce comme formés dans des marécages à peu de distance des mers, et qui ont été recouverts à plusieurs reprises par les eaux marines et les substances et corps qu'elles renfermaient. C'est le seul moyen d'expliquer l'alternance des débris marins et des débris lacustres et leurs mélanges dans les points de contact entre le terrain marécageux et le terrain marin. La formation gypseuse repose immédiatement sur le calcaire grossier et le calcaire siliceux.

Dans les assises supérieures de ce calcaire, on trouve le fluate de chaux en petits cristaux, le quartz hyalin prismé et le calcaire spathique. Au-dessous se rencontre l'argile plastique avec ses sables et ses cailloux, et dont les parties inférieures renferment du lignite, du succin, du phosphate de chaux et de fer, des cristaux de strontiane sulfatée, des pyrites, des ossements de crocodiles et enfin des débris de corps marins.

§ V. *Terrains secondaires.*

Immédiatement au-dessous de l'argile plastique apparaissent les terrains secondaires. Tous les débris de corps organisés qu'on y rencontre annoncent une origine marine; ces terrains sont stratifiés et forment quelquefois des montagnes très-élevées et très-escarpées. Les roches dominantes sont le calcaire et la marne argileuse; on y trouve quelques roches siliceuses, telles que des grès, qui sont quelquefois très-compactes; et dans les parties qui ont été peu tourmentées, on ne trouve que rarement des minerais, qui encore ne sont que disséminés en nodules ou en lits subordonnés; le fer est le seul métal

qui y soit abondant. On y trouve quelques combustibles charbonneux.

On peut diviser ces terrains en quatre groupes principaux :

La formation crayeuse, sur laquelle repose l'argile plastique; elle est de formation sédimenteuse et n'offre aucune apparence de cristallisation ; elle est le résultat d'un précipité chimique, et se divise en craie avec silex et craie sans silex, qui est au-dessous de la première. Les silex renferment quelquefois dans leur intérieur des cristaux de strontiane sulfatée; au-dessous de la craie on rencontre le grès ferrugineux, le grès vert et l'argile de Weald, qui renferment des pyrites, du fer phosphaté, des dépôts de combustible charbonneux, du sulfate de baryte, etc. Je ferai observer que ce mode de composition n'est pas absolument essentiel à cette époque; que, dans le midi de l'Europe, on trouve des calcaires et des grès de caractères fort différents, quoique de la même époque.

Nous arrivons ensuite à la formation jurassique, qui se compose de trois étages : du calcaire oolithique, du calcaire à gryphite, appelé lias, et du grès inférieur. Toute cette formation est composée de couches éminemment sédimentaires, et de couches de calcaire compacte. La stratification est parfaitement prononcée. On n'y trouve que du peroxide hydraté de fer, oolithique et des pyrites. Ces dernières sont plutôt dans les marnes argileuses que dans le calcaire lui-même. Ces terrains sont remarquables en raison des cavernes et des cavités qu'ils renferment et des pétrifications qui les remplissent.

Les débris de corps organisés y sont considérables, et on est loin d'en avoir déterminé toutes les espèces.

Vient ensuite le terrain de marne irisée, de muschelkalk et de grès bigarré, qui contient du gypse et de la dolomie, quelquefois avec cailloux. Les marnes irisées contiennent des lits irréguliers de calcaire avec de la strontiane sulfatée à la partie supérieure, du

gypse, du calcaire magnésien, de la houille et du grès dans le centre; du gypse et du sel gemme dans la partie inférieure. Le muschelkalk est un calcaire gris, quelquefois avec cailloux dans la partie supérieure et reposant sur une couche de dolomie et de calcaire.

Le terrain du grès des Vosges, du zechstein, forme la partie inférieure de la formation secondaire.

Le zechstein est un calcaire souvent magnésien, qui a une couleur gris de fumée; il contient du gypse et du sel gemme.

§ VI. *Terrains de transition ou intermédiaires.*

Les formations que nous venons de passer en revue ont bien une origine aqueuse; elles sont toutes ou sédimenteuses ou le résultat d'une cristallisation plus ou moins confuse. Nous allons examiner maintenant celles qui sont intermédiaires entre les terrains secondaires et les terrains primitifs, et que l'on désigne sous le nom d'intermédiaires ou de transition, parce qu'on a pensé pendant long-temps qu'ils participaient de l'une et de l'autre, opinion qui a perdu aujourd'hui beaucoup de son crédit, sans que l'on soit parvenu à lui substituer des idées bien positives, en raison du vague où l'on est encore sur l'origine d'une grande partie des terrains primitifs.

On partage cette formation en terrains de transition supérieurs et terrains de transition inférieurs. Les premiers comprennent le terrain houiller proprement dit, le calcaire métallifère et le vieux grès rouge. Les seconds se composent du calcaire de transition ancien, du grauwacke et thonschiefer.

Nous allons passer en revue rapidement chacun de ces terrains.

Le terrain houiller se compose d'une série de couches alternatives de houille, de schiste, de grès, qui sont fréquemment répétées et sans limite fixe. Les roches qui le composent paraissent avoir une formation mécanique,

à l'exception de la houille, qui, en raison de sa nature, de son homogénéité, et des minéraux cristallisés qu'elle renferme, semble être le résultat d'une action chimique. Ces terrains sont essentiellement stratifiés; dans quelques localités même, la houille se trouve en amas couchés.

On a reconnu, en général, une ressemblance complète dans la composition et l'ordre de succession des roches qui composent le terrain houiller, dans toutes les parties du globe que l'on a visitées. Les minéraux qu'on rencontre dans les terrains houillers sont le spath calcaire, qui se trouve implanté en cristaux dans les fissures, et la dolomie spathique, qui a un gisement semblable. On pourrait encore citer la baryte sulfatée, qui est en lits disséminés dans le schiste argileux, comme on en a un exemple dans les mines d'Anzin; le quartz hyalin, que l'on trouve en cristaux assez volumineux dans les filons ou failles; des pyrites, qui se trouvent plutôt dans les roches bitumineuses et dans la houille que dans les roches sableuses: mais ce qui est à noter, comme le fait remarquer M. Brongniart (1), c'est que ces pyrites ne sont presque jamais sur les tiges ni sur les feuilles des végétaux qui l'accompagnent, mais assez souvent dans ces tiges, qui sont comme fistulaires et dont tout l'intérieur est pyriteux.

Quant aux sels, ce sont des sulfates d'alumine, de fer et de magnésie, qui résultent de la décomposition des pyrites. On y trouve encore du fer carbonaté, de la galène et du bitume, qui découlent quelquefois de la houille. Il se dégage beaucoup de gaz hydrogène carboné des couches de hoiulle. Enfin il y a quelquefois de l'anthracite, surtout à peu de distance où des filons de basalte traversent des terrains houillers. Quant aux corps organisés fossiles qu'on y rencontre, ils sont considérables et caractéristiques. Ce sont, en gé-

(1) Dictionnaire des Sciences naturelles, t. LIV, p. 191.

néral, des débris de végétaux appartenant aux prêles, aux fougères et aux lycopodiacées. Mais ce qu'il nous est important de savoir, c'est que ces végétaux y sont le plus ordinairement couchés sans être brisés, puisque l'on cite, dans les mines de Borchum, des tiges de plus de 20 mètres de longueur qui n'ont pas été sensiblement froissées. Quelquefois l'aspect du végétal est tellement bien conservé qu'on dirait qu'il n'est simplement que desséché. Quant aux débris fossiles d'animaux, ils y sont au contraire très-rares.

Nous allons dire maintenant deux mots de la théorie que Deluc a donnée des terrains houillers.

Il regarde (1) comme très-probable que les terrains houillers ont été formés sur un sol peu élevé au-dessus de la mer, à la manière des tourbières; ces formations ayant été placées ensuite sous les eaux de la mer, ont été recouvertes par des sables et diverses autres substances que les cours d'eau y ont amenées. En supposant que ces masses d'eau fussent chargées de matières minérales terreuses ayant une température élevée, il ne pouvait s'y développer aucun corps vivant; dès lors on ne peut y rencontrer aucun indice de débris d'animaux.

La présence des nodules de fer carbonaté que l'on trouve presque toujours au milieu du dépôt houiller, indique que le liquide sous lequel s'est déposée la houille, était de nature à dissoudre une grande quantité de carbonate de fer, c'est-à-dire, était probablement sursaturé d'acide carbonique, ce qui doit faire supposer que la pression atmosphérique était plus considérable qu'elle n'est maintenant.

Le calcaire de transition porte l'empreinte du double mode de formation par voie chimique et par voie de sédiment; il est stratifié d'une manière nette; il renferme des métaux et divers minéraux saliformes qui y

(1) Brongniart. Dict. des Scienc. nat., t. LIV, p. 197.

sont disposés, en général, en amas; c'est le gîte ordinaire du fluate de chaux, de la galène et de la blende. Il contient beaucoup de bitume et de matières combustibles. Il renferme beaucoup de débris de corps organisés qui servent à le caractériser. Ce calcaire est souvent accompagné de dolomies qui le remplacent quelquefois, de porphyres, qui ont bien une origine ignée, de jaspe et de silex.

Quant au grès rouge, c'est un grès siliceux et micacé à grains grossiers, renfermant des fragments de quartz, d'argile et de schiste; il alterne avec des lits d'argile et passe souvent à la grauwacke, sur laquelle il s'appuie.

§ VII. *Des terrains primitifs.*

Nous arrivons maintenant aux terrains primitifs ou de cristallisation, qui sont les derniers que l'homme ait pu examiner jusqu'ici en pénétrant dans l'écorce du globe. Un caractère de ces terrains est de n'offrir que des roches dont les éléments sont actuellement agrégés par voie de cristallisation. On trouve encore ici des roches stratifiées et des roches en masse; mais tout annonce dans quelques-unes seulement une origine primitivement aqueuse ou sédimentaire, et une modification postérieure par le feu. Tous ces terrains ne renferment aucuns débris organiques, mais on y trouve une grande quantité de minéraux pierreux et métalliques. Les terrains primitifs, comme on sait, constituent de grandes étendues de pays et des chaînes de montagnes qui sont les plus élevées du globe.

Dolomieu pensait que toutes les roches avaient été formées par voie aqueuse, que les premières devaient être les plus cristallines et les autres des mélanges, quoique cristallines aussi. Dès lors il admettait que les granites, les gneiss et les micaschistes étaient les plus anciens dépôts, les porphyres, les serpentines, les roches amphiboliques les plus nouveaux.

Saussure admettait aussi que le granite était la plus ancienne roche.

Pallas regardait le granite comme formant la base des montagnes; suivant lui, les schistes se trouvaient sur les flancs.

Werner, vers 1800, a donné une classification des terrains primitifs, en leur attribuant aussi une origine aqueuse; il en distinguait huit espèces : 1° terrains de granite; 2° de gneiss; 3° de micaschiste; 4° de schiste argileux; 5° de calcaire primitif; 6° de serpentine; 7° de trapp; 8° de porphyre.

M. de Humboldt reconnaît quatre classes de terrains anciens : 1re classe, granite; 2e, gneiss; 3e, micaschiste; 4e schiste argileux.

Depuis que l'on a observé le soulèvement des montagnes, on a reconnu que les terrains les plus supérieurs ne sont pas toujours les plus nouveaux; aussi a-t-on apporté des changements dans leur classification, et l'on admet maintenant que l'ordre de ces terrains, en commençant par les plus nouveaux, est : schistes argileux et talqueux, micaschiste, roches amphiboliques schisteuses, gneiss, granite et syénite. Je n'ai nullement l'intention de décrire chacune de ces roches et leurs rapports de position, je rapporterai seulement quelques-uns de leurs caractères généraux qui sont relatifs au sujet que je traite dans cet ouvrage.

Les roches de schiste argileux ont été formées évidemment par dissolution, comme l'indique leur structure feuilletée; l'ardoise, l'aluminifère ou pierre d'alun, et le graphite ou pierre d'Italie, sont compris dans cette catégorie.

En général les bancs de ces roches sont rarement plans; ils sont assez ordinairement ondulés, ce qui résulte probablement d'actions mécaniques. On a remarqué, dans quelques localités, que les lames de mica et les petits lits de quartz hyalin qui se trouvent dans les plis les plus aigus, sont pliés et contournés, mais nullement brisés.

Les schistes talqueux; on comprend sous cette dénomination les roches dans lesquelles domine le talc ou la serpentine. On distingue dans ce terrain les roches de talc lamelleux, appelées chlorites, qui renferment très-fréquemment du fer oxidulé, du fer sulfuré, la pierre ollaire et l'actinote.

Dans le micaschiste, le mica est associé au feld-spath et donne la texture feuilletée à la roche. Il renferme en couches subordonnées le quartz hyalin et le schiste luisant, et en outre un grand nombre de minéraux, particulièrement le fer oligiste et le fer hydraté compacte, le titane rutile, la tourmaline, le disthène, les grenats, l'émeraude, etc. Les montagnes que ces roches constituent sont très-escarpées, en raison des couches, qui sont généralement verticales. Les roches amphiboliques schisteuses comprennent celles à base d'amphibole qui sont stratifiées.

Quand le quartz devient plus abondant dans le micaschiste, la roche passe au gneiss, qui conserve encore la texture feuilletée. Ce terrain est un des plus répandus sur la surface du globe. C'est aussi la roche stratifiée la plus ancienne; au-dessous sont des roches sans stratifications. Les espèces minérales qu'on y rencontre sont à peu près les mêmes que celles qui se trouvent dans le micaschiste. Les filons qui les traversent sont composés assez généralement de quartz hyalin, de pétrosilex, de calcaire spathique, de fer carbonaté spathique, de galène, de cuivre sulfuré gris, d'argent natif, etc. Au nombre des roches subordonnées à ce terrain se trouve le calcaire saccaroïde en lits ou couches qui alternent avec le gneiss et le porphyre, dont la présence a fait supposer à quelques géognostes que cette roche y a été introduite.

Viennent maintenant les terrains sans stratification: d'abord le granite, qui est composé de feld-spath, de quartz et de mica, et dont la texture est généralement cristalline; cette roche est celle qui renferme le plus d'espèces minérales et de métaux; on n'y rencontre ni de

grandes fissures vides ni de cavernes. Ce granite a été d'abord regardé comme la plus ancienne roche; mais aussitôt qu'on eut reconnu qu'il recouvrait des gneiss et des micaschistes, on en distingua de plusieurs âges.

M. Brongniart admet deux granites en raison de leur position. Le premier se trouve dans le gneiss et dans le micaschiste, et le second se montre depuis les plus grandes profondeurs connues jusqu'aux plus grandes élévations, depuis le dessous du gneiss jusqu'au-dessus de la craie. Il paraît s'être épanché sur la terre, d'abord après les terrains schisteux, ensuite après les terrains houillers, enfin après la craie. Presque tous les minéraux qu'on y trouve sont, ou disséminés, ou en veines, ou implantés dans quelques cavités. Certains métaux sont fort rares dans ce granite, tels que l'or natif, l'argent natif, le cuivre pyriteux, les pyrites ordinaires, le calcaire spathique; tandis que le titane, l'étain, l'urane, le fer arsenical, le molybdène, le wolfram, la tourmaline, etc., s'y présentent souvent.

On distingue encore dans ce terrain la protogyne, qui ne diffère du granite proprement dit que par la présence du talc.

La syénite a beaucoup de ressemblance par sa texture avec le granite; elle a une structure plus massive; elle est formée de feld-spath lamelleux et d'amphibole, également lamelleux. Elle passe ensuite à d'autres roches, suivant l'absence de tel ou tel élément. Elle renferme encore moins de métaux en filons que les granites.

Je ferai remarquer que le titane sphène s'y trouve constamment et peut servir par conséquent de caractère distinctif à la syénite. On y rencontre aussi le zircon.

On rapporte à cette roche, qui est souvent associée au porphyre, le granite orbiculaire de Corse.

Il existe encore un grand nombre de roches de positions variables, telles que les porphyres rouges quartzifères, les euphotides, les roches serpentineuses, les porphyres noirs (ophites), les dolomies de toutes les formations, et les grands amas de gypse.

Je ne ferai qu'indiquer ces roches, attendu que la discussion dans laquelle je serais obligé d'entrer pour établir leurs différents classements, m'éloignerait trop du but que je me propose.

Les porphyres, comme on sait, sont des roches dont la pâte est remplie de cristaux, de nodules ou de fragments de cristaux; leur mode de formation est moins cristallin que celui des granites. On en trouve dans plusieurs terrains; leurs filons traversent même quelquefois les gneiss; on ne peut pas induire de là que les porphyres soient d'une formation antérieure, car on ne connaît pas de terrains de porphyre sous un terrain de gneiss bien caractérisé. On trouve disséminés dans ces roches, des grenats, de l'amphibole, de l'épidote, du calcaire spathique en petites lames, des pyrites en nodules, de l'agate, du jaspe, et en filons du quartz, du sulfate de baryte, du fer hydraté, du fer oligiste, des minerais de manganèse et de mercure.

Les euphotides sont des roches composées de jade et de diallage; elles n'ont aucune tendance à la stratification, de sorte que leur structure est massive. Elles ne renferment pas de filons. Les minéraux qu'on y rencontre sont ou disséminés ou en veines nombreuses.

Les roches serpentineuses sont à base de talc; l'euphotide y est associé. On y trouve très-fréquemment des cristaux de fer oxidulé, de la diallage, des grenats, du fer chromé, etc. Souvent elles sont enveloppées de toutes parts par la chaux carbonatée.

La dolomie ou double carbonate de chaux et de magnésie se trouve dans les terrains secondaires, dans des positions peu régulières, et dans les terrains anciens; sa texture est souvent grenue, par suite d'une désagrégation. Elle est ordinairement accompagnée de corindons, de tourmalines, de trémolites, etc.

La chaux sulfatée anhydre, et celle qui renferme de l'eau, se trouvent en couches ou en amas considérables dans diverses formations, et en particulier dans le grès bigarré.

§ VIII. *Des terrains volcaniques anciens et modernes.*

Il reste à décrire succinctement les roches dont l'origine ignée est encore mieux caractérisée que dans la plupart des terrains de première formation : ce sont celles des terrains volcaniques tant anciens que modernes. Elles n'ont aucune stratification, et quelques-unes ont une texture poreuse, marque évidente d'une fusion; elles ne portent non plus aucun indice de formation mécanique ou sédimenteuse, et tout annonce une fusion ignée suivie d'un refroidissement lent ou rapide. Leur nature est généralement pyroxénique, argilo-ferrugineuse, quelquefois amphibolique, souvent feld-spathique, mais jamais calcaire. Leur couleur dominante est le noir, le gris foncé, et le brun rougeâtre ferrugineux.

On a divisé les volcans en volcans en activité, et en volcans éteints.

Desmarest, en 1779, qui le premier nous a fait connaître les volcans éteints de l'Auvergne, a partagé ceux-ci en trois époques : la première comprend les volcans les plus anciens présentant des pics sans cratères, sans laves ni coulées; les roches qu'ils ont produites sont composées de laves porphyroïdes, rudes quelquefois au toucher.

La seconde époque comprend les terrains à montagnes coniques, avec ou sans cratères conservés, ayant donné des coulées de lave très-étendues, qui ont quelquefois beaucoup de capacité, mais ne présentent plus de scories. Le caractère des coulées anciennes est d'avoir leur continuité interrompue par des vallées qui les ont coupées. Les laves de cette formation se rapportent aux basaltes.

La troisième époque comprend les terrains volcaniques les plus modernes, éteints ou en activité. La continuité des laves n'a pas été interrompue.

M. Brongniart, qui a décrit avec beaucoup de soin les terrains volcaniques, les a partagés en deux grandes

divisions ou périodes : terrains pyrogènes de la période saturnienne ou vulcaniques antidiluviens, et terrains pyrogènes de la période jovienne ou vulcaniques post-diluviens.

Il reconnaît également dans ces terrains trois groupes de roches dominantes, groupe trachitique, groupe trapéen, et groupe lavique. Je n'entreprendrai pas de décrire les diverses roches qui composent chacun de ces groupes, je dirai seulement quelques mots de celles qui servent de type aux espèces.

Les géologues regardent, en général, les trachites comme les roches volcaniques les plus anciennes, et ne se reproduisant plus de nos jours dans les volcans maintenant en activité. Cependant les masses sorties de terre à Santorin et à Methana étaient des masses trachitiques.

Les terrains trachitiques sont quelquefois stratifiés, mais ils sont divisés en prismes irréguliers par des fissures à peu près verticales. Les minéraux qu'on y rencontre y sont disséminés ou en veinules ; c'est le gîte le plus ordinaire des opales, des alunites et des minerais aurifères.

Le groupe trapéen ou basaltique. Les roches qui s'y rapportent présentent des divisions nettes très-variées, qui fournissent des prismes à plusieurs pans ; elles sont à base de pyroxène. On y trouve un grand nombre de minéraux formés par voie de cristallisation, parmi lesquels on distingue le pyroxène, le péridot, le feld-spath, le fer titané, l'amphigène, la mésotype et tous les minéraux de la même famille ; des quartz de diverses variétés, le sulfate de baryte, l'arragonite, le calcaire, le cuivre natif, le bitume, etc.

Le groupe lavique. Toutes les roches qui s'y rapportent ont le caractère des laves ou de roches fondues par l'action des volcans. Elles n'offrent aucun indice de stratification, et ne présentent que rarement des fissures. Les roches sont en coulées qui affectent la forme de celles que produisent encore nos volcans. Dans ces roches on trouve du feld-spath, de l'amphibole, du pyroxène,

du péridot, de l'amphigène, de la hauyne, du fer oligiste, du fer titané, du titane sphène, des pyrites, du mica, du quartz hyalin, du sel marin, du soufre, du selenium.

Outre les roches volcaniques dont je viens de parler, il est encore d'autres substances qui sont rejetées de l'intérieur des cratères, sous forme de laves liquides, de cendres ou de pierres, dont le volume est quelquefois considérable.

Les matières pulvérulentes ne retombent pas toujours sèches sur le sol. Elles sont imprégnées de vapeurs aqueuses qui leur donnent la propriété de former des masses solides, qui, par le remaniement des eaux, deviennent ensuite des dépôts sédimenteux.

Les masses solides sont, ou des ponces ou des scories, des fragments des lave, de verres, des cristaux, etc., dont la plupart ressemblent aux scories de nos fourneaux. Les masses de lave qui sont lancées forment des boules quelquefois creuses ou qu'affectent d'autres formes ; elles sont formées ordinairement d'obsidienne, de feldspath, etc.

Des fragments de roches anciennes sont quelquefois lancés par les feux volcaniques. Ferrara assure que l'Etna a lancé du granite ainsi que le Vésuve, qui a rejeté en outre du micaschiste et d'autres roches.

J'ajouterai que les volcans qui commencent à s'éteindre dégagent abondamment du soufre.



CHAPITRE CINQUIÈME.

DES FILONS.

Quand on examine la plupart des roches qui composent les formations que nous venons de passer en revue, on découvre çà et là des fentes presque perpendiculaires aux couches dont elles sont formées, et qui sont remplies de substances minérales métalliques ou pierreuses. On a donné le nom de filons à ces fentes ainsi remplies.

Les anciens avaient déja connaissance des filons, au rapport de Diodore de Sicile, de Pline (1), et d'Agricola (2), qui florissait dans le 16[e] siècle, et que l'on regarde avec raison comme le père de la minéralogie. Ce dernier chercha non-seulement à décrire les filons, mais encore à expliquer leur formation. Il pensait que les fentes et fissures qui les constituent avaient été formées en partie en même temps que les montagnes, et en partie après par l'infiltration des eaux. Quant aux terres et aux pierres qui remplissent ces fentes, il attribua les premières aux particules détachées de la roche, et conduites dans les filons par les eaux, endurcies ensuite par les effets de la chaleur et du froid, et par un suc pierreux. Les minéraux et les métaux, suivant lui, proviennent d'une dissolution dans laquelle les terres et l'eau sont intime-

---

(1) Diodori Siculi Bibliothecæ historiæ liber XV. Père Laurent. Rodomanum Hanov. 1604. fol. p. 150. Plinii secundi historiæ naturalis libri XXXVII, quos interpr. et not. illustravit Jo. Harduinus, Parisiis, 1723. T. II, p. 617.

(2) Re Metallic., liber III.

ment combinées et mêlées en certaines proportions. La physique et la chimie étaient alors trop peu avancées pour qu'Agricola ait pu se former une idée nette de la question des filons.

Cette même question a occupé un grand nombre de savants ; faute de faits, ils entassaient conjectures sur conjectures, pour expliquer la formation des fentes et leur remplissage. Je citerai Becher, Stahl, Zimmerman, qui considérait les filons comme résultant de la transformation de la roche ; d'Oppel, auquel on doit un ouvrage assez remarquable sur les filons, qu'il regarde comme des fentes qui ont été ouvertes autrefois dans leur partie supérieure, et remplies ensuite de diverses substances minérales. On lui doit l'observation d'un fait important, c'est que, dans les enfoncements et vallons les plus profonds des montagnes moyennes, les filons les plus puissants suivent la direction des vallons ; ce fait tend à prouver que les fentes ont été produites par quelques-uns de ces grands cataclismes qui ont changé à plusieurs reprises la configuration du globe. Je citerai encore Charpentier, Baumer, Trebra, et Lassius, qui regardait les filons comme des fentes remplies d'eaux chargées d'acide carbonique et d'autres dissolvants, qui ont dissous les parties terreuses métalliques et autres qui se trouvaient dans la masse des roches, et les ont déposées dans les fentes après l'arrivée de quelques précipitants.

Parut ensuite Werner, auquel on doit une théorie des filons, basée sur des faits positifs, qu'il a voulu cependant trop généraliser.

Il pensait que, lorsque la masse des montagnes, d'abord meuble et humide, a commencé à s'affaisser et à se dessécher, il s'est formé naturellement des fentes qui ont été remplies par en haut par voie de dissolution. Suivant ce célèbre géologue, il se forme encore de temps en temps, dans les montagnes, des crevasses qui ont une ressemblance parfaite avec les espaces qu'occupent les filons, principalement dans les années

fort humides ou par l'effet des tremblements de terre.

Werner a été témoin, en 1767, année très-humide, de la formation d'une fente très-considérable auprès de Hainchein et dans deux autres endroits de la Haute-Lusace.

En Calabre, lors du fameux tremblement de terre qui a bouleversé ce pays, il s'est formé également un grand nombre de fentes ou crevasses. Il prétend que les druses que l'on trouve dans les filons ne sont autre chose que des parties qui n'ont pas été entièrement remplies, et doivent être considérés comme les restes du vide dans lequel le filon s'est formé. Il cite encore comme preuve que les filons ne sont que des fentes remplies, par en haut, les galets et pierres arrondies qu'on y trouve, le sable et le limon qui constituent la matière de certains filons.

Au rapport de ce grand géognoste, on a trouvé des fragments de la masse du filon en plus ou moins grande quantité dans le filon même, lesquels, empâtés dans une substance minérale, forment une véritable brèche. « Ces fragments, dit-il, prouvent que les filons ont été « autrefois des fentes vides (1). Ils peuvent être tombés « dans le filon de deux manières différentes; d'abord le « filon peut avoir été rempli et ensuite être ouvert de « nouveau, c'est-à-dire, que dans le filon même il s'est « formé une nouvelle fente dans la même direction que « la première, etc. »

Il cite encore comme une preuve à l'appui de son opinion sur les filons, la présence de restes ou d'empreintes de corps organiques pétrifiés.

On a opposé à la théorie de Werner l'adhérence de certains filons à la roche contiguë, ainsi que les fentes ou fissures qui coupent transversalement certains filons puissants. Suivant lui, cette union entre les substances

(1) Nouvelle théorie de la formation des filons. Werner, trad. de M. Daubuisson, p. 86.

du filon et de la roche adjacente provient de leur homogénéité ainsi que du peu de différence dans leur ancienneté relative. Il explique les fentes qui traversent les filons en disant qu'ils ont pu être exposés à de violentes secousses qui se sont propagées dans le sens de la stratification de la roche au travers du filon.

Suivant Werner, la masse des filons a été formée par une suite de précipités qui ont rempli les fentes en totalité ou en partie par en haut (1). Ces précipités ont été formés par une dissolution aqueuse qui couvrait la contrée.

S'il existe des filons qui paraissent avoir été remplis par en haut, il y en a d'autres pour lesquels cette supposition est difficile à admettre, car tout tend à prouver que, dans ces derniers, le remplissage a eu lieu par sublimation.

Hutton pensait que la chaleur intérieure de la terre était assez considérable pour fondre et réduire en vapeurs les métaux et les terres, qui, en raison de leur force expansive, ont produit des fentes dans les parois solides de la croûte du globe, par où elles se sont échappées et, en se solidifiant, ont donné ainsi naissance à des roches cristallisées. C'est ainsi, suivant lui, qu'ont été formés les grands filons de basalte qui traversent les terrains de toutes les époques. Les Anglais considèrent donc, par conséquent, les filons comme ouverts par soulèvement et remplis de bas en haut par sublimation, et de haut en bas par des matières qui ont été détruites et enlevées de la surface du globe par des causes quelconques et qui sont restées intactes dans les filons. Ils regardent comme probable que ce mode de remplissage est celui de plusieurs filons pierreux ou métalliques qui, en raison de leur structure, n'ont pu être remplis entièrement par en bas.

Jusqu'ici les géologues pensent que l'on ne peut admettre l'une de ces hypothèses à l'exclusion de l'autre,

(1) Nouvelle Théorie des filons; tr. de M. Daubuisson, p. 119.

attendu que chacune des causes supposées peut avoir concouru, suivant les circonstances, au remplissage des diverses sortes de filons. Ils regardent comme certain, par exemple, que les filons qui renferment des débris de roche constituant les assises supérieures des terrains qu'ils traversent et de corps organisés, ont été remplis par leur ouverture supérieure; mais il n'en est plus de même pour les filons dont les salbandes et les épontes sont intimement liées ensemble. Dans ce cas, on a été obligé de supposer que la formation de la roche, celle du filon et son remplissage, ont été presque contemporains. Quand on voit des amas cristallisés de diverses substances au milieu de roche également cristallisée, enveloppés de toute part par elle, de manière à ce qu'on ne puisse dire qu'ils aient été introduits dans les cavités qu'ils remplissent ni par en haut, ni par en bas, on est porté alors à considérer le filon comme une fente ouverte au milieu d'un magma cristallin, pénétré encore de la dissolution en état de précipitation et déposant dans cet espace, moins saturé ou moins épais, des parties d'une structure et d'une nature un peu différente de celle du reste de la roche.

Quand les épontes des filons sont tapissées de matières siliceuses, calcaires ou métalliques, disposées par lits onduleux et parallèles entre eux et aux salbandes, on ne peut admettre que le remplissage s'est opéré au moyen d'une dissolution arrivant par en haut et déposant des couches épaisses d'une matière aussi peu dissoluble par les agents que nous connaissons. La cause qui a pu produire ce mode de remplissage est encore inconnue.

Il est encore un autre mode de remplissage dont on n'a pu donner une explication satisfaisante, c'est celui qui a constitué les filons qui renferment des sulfures métalliques déposés en houppes cristallines sur toutes les parties du filon en saillie, et des corps décomposables dans toute dissolution aqueuse, tels que les sulfures et

les arseniures métalliques, et même qui ne peuvent supporter une température élevée sans voir leurs parties constituantes séparées, à moins d'admettre l'action d'une pression considérable.

D'après l'exposé que je viens de présenter, on peut regarder à peu près comme certain que les filons n'ont pas été produits par une cause unique et générale et que plusieurs causes ont quelquefois concouru à leur formation.

En étudiant les filons, on est parvenu à déterminer leur âge relatif en partant de ce principe que les filons coupants sont nécessairement plus nouveaux que les filons coupés. Je dois ajouter qu'en général les filons les plus anciens se trouvent dans les terrains primordiaux; que dans ces filons la gangue et le minéral adhèrent fortement à la roche, que la première participe souvent de la nature de celle-ci, et que le second se trouve aussi disséminé dans la roche même à peu de distance du filon. Ces filons anciens ont en général peu de puissance, renferment moins de minerais et de substances cristallisées que les autres. Les plus puissants et les plus étendus sont ceux qui traversent les schistes et les calcaires de transition et qui sont les moins anciens. Ces terrains renferment aussi de grandes cavités qui présentent ordinairement des caractères opposés à ceux des filons anciens.

Les minéraux que l'on trouve dans ces derniers, soit seuls, soit avec des métaux, sont le feld-spath, le quartz, le mica, l'amphibole, la topaze, le béril, le mica la chlorite, la chaux fluatée, la chaux phosphatée, etc.

Les filons les plus modernes renferment du calcaire spathique, de la baryte sulfatée et carbonatée, de l'argile lithomarge, de l'agate, du talc, etc.

Quant aux minerais métalliques, les observations qui ont été faites jusqu'ici montrent qu'ils peuvent être rangés dans l'ordre suivant, dans les terrains les plus an-

ciens : l'étain, le scheelin ferrugineux et calcaire, le molybdène, le graphite, l'urane, le bismuth, le fer oxidulé, le cobalt gris, le fer arsenical.

Dans les terrains primordiaux stratifiés, tels que les gneiss, les micaschistes, etc., les minerais métalliques par rang d'ancienneté sont : l'antimoine sulfuré, le manganèse métalloïde, le fer carbonaté spathique, le cobalt arsenical, le nickel sulfuré, l'argent gris, l'argent rouge, l'argent natif, le mercure sulfuré, le cuivre oxidulé et métallique, le cuivre sulfuré, le cuivre gris, le cuivre pyriteux, le fer oligiste, le fer oxidé rouge, le fer oxidé brun, le fer pyriteux.

Si nous passons aux terrains de transition et de sédiment, nous trouvons, également par rang d'ancienneté, le fer oxidé compacte, le mercure sulfuré, le plomb sulfuré, le zinc sulfuré, le manganèse oxidé compacte, le zinc carbonaté, le cuivre carbonaté vert et bleu et la calamine.

Dans le chapitre suivant, je rapporterai les nouveaux documents que nous avons acquis sur les diverses époques de remplissage des filons.

CHAPITRE SIXIÈME.

DE L'ALTÉRATION DES ROCHES ET DES FORMATIONS MODERNES.

§ I[er]. *Opinion de Werner sur l'altération des roches.*

L'ALTÉRATION qu'éprouvent journellement certaines roches, et la formation des composés qui en résultent, forment depuis quelques années le sujet de mes études. Je me suis proposé de découvrir quelques-unes des causes qui concourent à cette grande opération de la nature. Mais, avant de présenter le résultat de mes observations, je vais donner un précis circonstancié de tous les faits qui ont été observés jusqu'ici.

L'altération des roches avait attiré l'attention de Werner. Il a avancé (1) que, dans plusieurs filons, la roche qui en forme le toit et le mur, est altérée et décomposée; effet qui a lieu particulièrement dans les montagnes de gneiss, de micaschiste, de porphyre, etc. La décomposition porte ordinairement sur le feld-spath, l'amphibole et le mica, et jamais sur le quartz. Cette altération, qui pénètre quelquefois jusqu'à une profondeur de deux mètres dans la roche, a lieu particulièrement là où le minerai est chargé de soufre. Mais, ce qu'il y a de remarquable, c'est que la partie altérée de la roche conserve presque toujours les mêmes parties intégrantes et dans une même proportion. Avernier pensait que l'action de quelque agent, en affaiblissant les affinités, avait relâché

(1) Nouv. théorie des filons, t. 1, p. 145, tr. de M. Daubuisson.

l'adhérence des molécules ou bien dissous quelques-unes des parties constituantes qui avaient disparu, et que cette altération était produite par l'action des acides qui se trouvaient dans la dissolution à laquelle le remplissage des filons devait naissance.

Suivant Werner, ces décompositions proviennent de l'action de deux acides différents; la première se montre dans les montagnes de granite et de gneiss où le feld-spath seul a été décomposé et a produit le kaolin. Il attribue cette altération à l'acide carbonique.

La seconde espèce de décomposition a lieu particulièrement dans les filons considérables sur le feld-spath, le mica et même l'amphibole. Il la regarde comme l'effet de l'acide sulfurique, attendu qu'il l'a observée principalement dans les lieux où il y a beaucoup de pyrites. Il pense que l'acide arsenique produit dans la roche une altération semblable à celle qui est due à l'acide sulfurique.

Quant aux altérations que la masse des filons peut avoir éprouvées dans la suite des temps, il reconnaît que cela est arrivé en plusieurs endroits. La masse du filon ou l'un des minéraux qu'elle renferme a pu être entièrement décomposée, soit par une dissolution qui s'est introduite dans le filon, soit par l'action de l'air atmosphérique qui y aura pénétré ou par celle de l'eau qui aura filtré à travers le terrain et la roche.

De pareilles transformations, dit-il, ne produisent que des ocres et des oxides métalliques, très-rarement des métaux vierges, peut-être et uniquement du cuivre, jamais des minerais proprement dits. Parmi les pierres, le spath fluor paraît susceptible d'une pareille décomposition et l'avoir éprouvée quelquefois.

§ II. *Modifications que les filons de Pont-Gibaud ont éprouvées ; divers exemples de décomposition.*

M. Fournet, qui a dirigé pendant plusieurs années les mines de plomb argentifère de Pont-Gibaud, a fait des

observations intéressantes sur les filons de cette contrée et les changements qu'ils ont éprouvés à diverses époques. Le résultat de ses recherches a été consigné dans un Mémoire présenté en 1833 à l'Académie des sciences, lequel a pour titre : *Des divers accidents et des formations successives qui ont produit l'état actuel des filons des environs de Pont-Gibaud.*

Les roches primitives de cette contrée renferment une multitude de fissures ou filons, dont les unes ont servi de réceptacle aux fragments des roches voisines et aux substances métalliques et terreuses venues de l'intérieur et de l'extérieur, et dont les autres ont donné issue à des matières volcaniques ou à des cours d'eau. Ces filons renferment à peu près les mêmes substances, savoir : de la galène, du cuivre pyriteux, de l'antimoine sulfuré.

Le terrain qui encaisse les filons varie dans sa composition; sur les plateaux, il est formé particulièrement de schiste micacé, tandis que, dans les vallées profondes, il renferme des roches qui sont plus magnésiennes.

Il existe, comme en Cornouailles, des différences dans les minéraux qui remplissent les filons, suivant qu'ils traversent telle ou telle roche encaissante. A Pont-Gibaud, le schiste micacé et le straschiste sont les roches métallifères par excellence. Les granites à petits grains sont pauvres. Toutes les variétés de ces roches éprouvent une altération qui les fait passer à des teintes vertes ou jaunes plus ou moins prononcées. La décomposition des pyrites qu'elles renferment donne naissance à des efflorescences magnésiennes ou vitrioliques.

Le granite à petits grains forme de gros amas saillants ou des filons dans les vallées, par suite de la décomposition des roches schisteuses environnantes; il éprouve lui-même des altérations par le passage du feld-spath à l'état de kaolin.

Il a trouvé que les filons ont été remplis de deux manières par des fragments anguleux, des roches voisines venues de la surface du globe et par des sources qui ont surgi de l'intérieur. Il combat l'opinion des géologues

qui, s'appuyant sur les cristaux trouvés dans les scories de nos fourneaux, n'admettent qu'un seul mode de remplissage, celui par sublimation ou par fusion. Pourquoi, ajoute-t-il, cette sublimation ou cette fusion n'a-t-elle pas produit dans les filons des réactions et des compositions analogues à celles que nous opérons dans nos laboratoires, particulièrement des nombreux silicates que l'on y retrouve à peine? Il fait observer, à cet égard, que la silice, qui est contemporaine avec toutes les substances arrivées à diverses époques, se trouve toujours libre à côté des bases les plus énergiques qui ont attiré à elles les autres acides, même l'acide carbonique, lorsqu'on sait qu'à une température élevée elle joue le rôle d'un acide puissant. D'un autre côté, si la silice eût été déposée par sublimation, il n'y a pas de doute que la chaleur énorme et les agents chimiques qui auraient été nécessaires pour la fondre et la sublimer, n'eussent altéré les parois des filons et les fragments de roches qui s'y trouvent, et formé à leurs dépens des substances analogues aux produits laviques. Dès lors, l'isolement de la silice et la non-altération des parois des filons par le feu prouvent que ceux-ci ont été remplis par voie aqueuse.

M. Fournet distingue deux systèmes de filons : les uns d'origine ignée, tels que les porphyres, les trachites, etc., dans lesquels la silice a été mise en combinaison par la chaleur; les autres d'origine aqueuse, où elle a été déposée libre, comme cela se voit encore de nos jours dans certaines eaux minérales, avec cette différence néanmoins qu'elle n'est plus maintenant qu'à l'état de gelée.

Le mode de remplissage qui provient de l'extérieur, se compose de fragments de roches anciennes qui ont éprouvé quelque altération. M. Fournet cite particulièrement des schistes dont le talc et le mica sont changés en une substance grise, tachante et ardoisée; des schistes talqueux dans lesquels la stéatite s'est isolée en veinules ou nodules jaunes très-onctueux et des granites dont le feld-spath est converti en kaolin. Un fait digne

de remarque, c'est que les granites de même formation qui se trouvent en amas et loin, par conséquent, du contact d'autres corps, n'ont éprouvé en général aucune altération. Il résulte de là que les mineurs, quand ils rencontrent cette roche non altérée, sont assurés de ne trouver que du minerai pauvre.

Il attribue le mode de remplissage par en bas à des sources qui ont déposé de la silice, du sulfure de fer et des pyrites arsenicales sur les fragments des roches primitives. Ces dépôts, qui ont été enveloppés ensuite par tous les autres, constituent la première époque de remplissage. Cette époque est caractérisée par une absence presque complète de cristallisation. Il semblerait que les eaux minérales tenaient en dissolution un si grand nombre de substances, que celles-ci se sont prises en masse. Peut-être même ce premier remplissage a-t-il été opéré par la voie sèche, car on y remarque des substances formées d'aiguilles, qui semblent être des tourmalines.

On distingue dans les filons de Pont-Gibaud quatre autres époques de remplissage dont je vais indiquer les caractères principaux.

A la seconde époque, les fentes primitives paraissent avoir éprouvé une nouvelle dilatation, il en est résulté de nouvelles branches ou fissures qui ont été remplies par des produits secondaires et tertiaires. Les fentes ont été remplies de nouveau, comme précédemment, soit par des fragments anciens provenant de la surface et des débris quartzeux du filon détaché par la violence de la secousse, soit par des dépôts de quartz et des sulfures qui sont venus de l'intérieur. Les quartz se distinguent de ceux qui ont été déposés lors de la première époque en ce qu'ils ont une texture esquilleuse et une tendance prononcée à la cristallisation, qui a produit, vers les dernières périodes de l'époque, des pointements cristallins. Les dépôts des sulfures ont eu lieu autour des nodules anguleux anciens et ont formé des zones alternatives de pyrite, de galène et de quartz hyalin à petits cristaux.

A la troisième époque, une dilatation nouvelle du fi-

lon a eu lieu ; il en est résulté les mêmes accidents et les mêmes formations qu'à la deuxième. Cette dilatation paraît avoir eu pour résultat de détourner les sources qui produisaient la blende et la galène, et d'introduire dans le filon des dissolutions chargées de sulfate de baryte ou au moins de sels capables de le produire par leur réaction. Il n'est pas rare de trouver dans un filon des morceaux dont le centre est un fragment de roche ancienne, enveloppé de quartz esquilleux, de sulfure de plomb et de zinc de la précédente époque. Le sulfate de baryte, dans son contact avec les roches anciennes, a pris ordinairement des teintes violacées qui se perdent peu à peu en raison de son éloignement des roches anciennes. Ce fait confirme l'observation que les eaux ont agi par voie de dissolution sur les roches préexistantes.

A la quatrième époque, l'énergie incrustante des sources paraissait s'être affaiblie peu à peu, aussi les formes des substances des minéraux sont-elles de plus en plus régulières. Les filons ont achevé alors de se constituer. En général, les substances venues de l'extérieur sont des argiles tenaces et onctueuses, chargées fréquemment de détritus du filon lui-même.

Il paraît que, dans cette localité, les salbandes sont le résultat d'une altération profonde des roches anciennes qu'on explique facilement par le séjour prolongé des eaux dans le filon, en raison de l'analogie que l'on remarque avec l'altération identique des mêmes roches à la surface de la terre. Cette observation est donc contraire à l'opinion de ceux qui voudraient que les filons eussent été constamment formés par voie ignée. Pendant que ces altérations avaient lieu, il s'est formé des pyrites, d'autres substances et divers carbonates qui indiquent les premières traces visibles de l'arrivée de l'acide carbonique.

Enfin la cinquième époque correspond probablement à celle des grandes alluvions et des éruptions basaltiques. Les dépôts siliceux ont toujours continué à paraître et n'ont pas cessé jusqu'à nos jours, mais avec cette dif-

férence essentielle que nous ne pouvons expliquer, que la silice est maintenant dans un état gélatineux qui ne lui permet plus de cristalliser. Le fer et le manganèse y sont à l'état d'hydrate; le calcaire seul, en vertu de ces affinités énergiques, a pu conserver l'acide carbonique qui, du reste, se dégage depuis cette époque, avec force, soit des eaux, soit des fissures multipliées produites par les commotions qui ont accompagné la série des éruptions volcaniques. Les dépôts ferrugineux et calcaires tendent constamment à obstruer les travaux du mineur, en sorte qu'après l'épuisement du filon, si on laissait les galeries fermées, et que la masse acquît de la compacité par les infiltrations successives, il est probable que des exploitations nouvelles seraient ouvertes sur des dépôts de minerais de fer hydraté silicifère et calcarifère: c'est ainsi qu'on trouve déja les ocres très-compactes cimentant des fragments de remblai, ayant une surface mamelonnée et dorée comme celle de certains minerais de fer.

Les dépôts de manganèse libre sont peu abondants, ceux de silice pure sont affectés à certaines localités, et les calcaires ne diffèrent pas en général de ceux qui constituent les stalactites ou les concrétions amorphes. Ces dernières sont quelquefois cristallisées assez régulièrement et en pointements oblongs. Le plus fréquemment toutes ces substances sont mélangées confusément ensemble et constituent dans les galeries ou à la surface du sol des amas d'ocre effervescent, à base de silice gélatineuse.

Les altérations journalières que les substances minérales éprouvent par l'action des agents atmosphériques se manifestent par l'oxidation graduelle des deux éléments des sulfures; il se forme des bases et des acides qui restent libres ou s'unissent par suite du contact, ou enfin s'emparent des autres corps voisins et forment ainsi des produits variés.

Le fer hydraté compacte et terreux provient de la décomposition des pyrites; le fer hydraté pulvérulent

de celle du carbonate de fer ; le fer arseniaté vert pâle, des pyrites arsenicales: la galène se décompose également comme le sulfure de fer et se convertit d'abord en une substance pulvérulente, noire et tachante, qui finit par donner naissance à du plomb carbonaté noir ou blanc, vitreux ou terreux, qui reste mélangé avec la galène et le sulfure d'argent. On trouve fréquemment de ces formations dans les galeries de mine. Quelquefois l'acide sulfurique reste combiné avec l'oxide de plomb et donne naissance à du sulfate en petits octaèdres. La blende est aussi soumise à des altérations particulières. Il se forme des sulfates et de l'oxisulfure de zinc. Le cuivre pyriteux, en se décomposant, donne naissance à du sulfate et à du carbonate de cuivre vert, pulvérulent ou cristallisé, ou bien à du protoxide de cuivre en petites houppes soyeuses.

Dans les galeries de mines, on observe souvent des cristaux de carbonate et de sulfate de chaux et de magnésie.

Le gypse anhydre en masses prend peu à peu de l'eau à l'air et se change en sélénite, qui se dépose en petits cristaux sur la masse de la roche.

Les roches schisteuses et aluminifères, en se décomposant, par suite de la réaction des pyrites sur l'alumine, donnent naissance à l'alun ou du moins à l'un de ses éléments, le sulfate d'alumine. Je dois mentionner aussi ici une variété de sel gemme (1) qui a la propriété remarquable de décrépiter quand on la met dans l'eau.

M. Dumas a reconnu que ce gaz est de l'hydrogène qui est fortement condensé dans les cavités du sel. La présence de ce gaz semble indiquer le mode de formation du sel gemme.

§ III. *Décomposition des granites.*

La décomposition des granites a attiré depuis long-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIII, p. 306.

temps l'attention des géologues, mais jusqu'ici il a été impossible de découvrir la cause de ce phénomène, qui est particulier à certaines localités et surtout à celles où il se trouve des formations volcaniques, car il existe un grand nombre de roches granitiques qui sont restées intactes, quoique exposées depuis des siècles à toutes les influences atmosphériques. De Saussure avait observé les granites destructibles ; il attribua leur altération à l'effet d'un suc corrosif qui avait dissous le gluten qui unissait toutes les parties. Suivant ce grand observateur, les granites des Alpes ne sont pas sujets à cette maladie. M. Desmarets (1), dans la description qu'il a donnée des terrains volcaniques de l'Auvergne, a vu dans certaines parties des granites intacts, plus loin des granites altérés, plus loin encore des granites à demi fondus, et ainsi des nuances suivies jusqu'à des laves et des basaltes. M. de Saussure a vu également ces transitions nuancées dans le Forez et les Vosges.

On croit depuis long-temps que le kaolin provient de l'altération du feld-spath, parce qu'il en a quelquefois la texture et que ses bancs contiennent encore du quartz et du mica qui ont résisté à l'action décomposante.

MM. Vauquelin et Alluau avaient attribué le phénomène à une désagrégation du feld-spath suivie de la mise en liberté de l'alcali enlevé peu à peu par les eaux.

Gehlen a rapporté le phénomène à l'action voltaïque, explication qui n'en est pas une, si l'on ne démontre pas comment l'électricité doit agir pour opérer la décomposition. En comparant les analyses du feld-spath et du kaolin, il a fait voir que les explications données par MM. Vauquelin et Alluau sont incomplètes, attendu qu'en admettant le simple départ de la potasse, les autres parties constituantes auraient dû conserver leurs proportions relatives, ce qui n'est pas. Il a avancé l'hypothèse que la décomposition du feld-spath dépend de

(1) Mém. de l'Acad. des Scienc., an. 1771, p. 723.

certaines facultés polaires que possèdent les molécules, et qui se développent ensuite peu à peu par des influences extérieures telles que celles de l'eau ou autres agents.

D'un autre côté, M. Berthier, auquel nous devons d'excellentes analyses d'un grand nombre de substances minérales, a trouvé que la potasse n'était pas le seul corps enlevé et qu'il s'échappait aussi de la silice, c'est-à-dire que le feld-spath perdait un silicate de potasse, et se transformait en un silicate d'alumine, dans lequel les proportions de silice et d'alumine avaient changé par rapport au feld-spath.

M. Berzelius (1), en parlant des corps qui perdent la propriété de se dissoudre dans les acides, après avoir été exposés à une température élevée, cite le feld-spath comme étant probablement un de ceux dont les molécules se trouvent dans un état d'union très-intime qui les empêche d'être alterées par les acides. Pour détruire cette indifférence, il faut, dit-il, exposer les corps à des réactions électro-chimiques plus ou moins fortes.

M. Fournet, voulant se rendre compte des causes qui ont concouru à la formation du kaolin, a étudié, à Pont-Gibaud, cette substance dans les filons, dans les parties inférieures des basaltes et à la surface du sol. Ce kaolin provient des granites, gneiss et basaltes décomposés superficiellement dans leur place originaire.

En suivant leur altération depuis la surface du sol jusqu'à une certaine profondeur, il a trouvé : 1° Une zone supérieure, couleur jaune ou rouge, due à la suroxidation du fer.

2° Une zone mitoyenne, de couleur verte très-prononcée.

3° Une zone inférieure offrant tous les caractères d'un granite intact, mais qui se désagrége complétement au moindre choc.

Enfin au-dessous se trouve, en liaison intime, le granite solide et inaltéré. Ces faits et d'autres analogues

---

(1) Traité de Chimie, t. IV, p. 574.

prouvent que la décomposition de ces roches a été successive.

Dans le Limousin, si l'on examine avec attention les masses granitiques qui sont en décomposition, on reconnaît aussi que leur altération est successive de la surface à l'intérieur.

Dans les Vosges, on a remarqué que le granite est profondément désagrégé sur les pentes orientales, près de leur contact avec les formations secondaires et non à peu de distance; mais cet effet ne doit-il pas être attribué en partie à ce que le contact de deux roches hétérogènes est toujours accompagné de solutions de continuité plus ou moins sensibles qui favorisent les infiltrations des eaux?

M. Fournet, pour expliquer la décomposition des granites, part du principe que leur masse a été désagrégée successivement de l'extérieur à l'intérieur, par un effet de dimorphisme, qui a changé leur texture cristalline, comme les arragonites, les laumonites et d'autres substances nous en offrent des exemples.

Pour justifier cette désagrégation successive, il fait remarquer ce qui se passe dans les basaltes et les phonolithes. On voit d'abord une série de petites taches grises, plus ou moins rapprochées et rayonnantes, qui résultent d'une division extrême des parties et ne peuvent provenir des effets de contraction et de dilatation, lesquels divisent ordinairement la masse sans la porphyriser. L'altération continuant toujours, la masse se divise en une multitude de fissures dirigées ordinairement suivant trois plans rectangulaires qui déterminent une désagrégation totale cuboïde ou plutôt sphérique par l'émoussement des angles. L'exfoliation par couches concentriques survient après par suite du gonflement de la masse. Les diverses couches détachées tombent dans un état de désagrégation si complet, que les agents chimiques les attaquent facilement et les convertissent en un corps argiloïde, coloré par le fer à un tel degré d'intensité, que l'on distingue, en Auvergne, les terres végé-

tales laviques dites fromentales de celles qui résultent de l'altération des schistes micacés qui sont moins productives. De ces faits et d'autres que je ne rapporte pas ici, il tire la conséquence qu'il existe dans les roches ignées, à l'instant de leur solidification, un état d'équilibre instable des molécules qui produit le retrait auquel sont dues les structures prismatiques, articulées, tabulaires, etc. Peu à peu cet équilibre se perd pour faire place à un autre plus stable qui change la structure même du corps.

M. Gustave Rose nous a donné un exemple d'un dimorphisme de ce genre, dans les pyroxènes et les amphiboles, dont les uns résultent d'un refroidissement rapide et les autres d'un refroidissement lent. C'est ainsi que l'acide arsenieux vitreux, récemment sublimé, éprouve avec le temps et peu à peu une opacité complète en perdant de sa densité et acquérant plus de solubilité dans l'eau.

Les roches feld-spathiques, qui ont en général une origine semblable à celle des basaltes, éprouvent aussi une décomposition en couches concentriques.

La désagrégation étant admise, voici comment marche ensuite la décomposition, suivant M. Fournet : Dès l'instant que les roches se désagrégent, leur fer s'oxide graduellement en passant à l'état de protoxide incolore, d'oxide vert intermédiaire et de peroxide hydraté jaune. D'un autre côté, on a remarqué depuis long-temps que, lorsque le petunzé commence à s'altérer, il prend une teinte légèrement rosée, et acquiert en même temps une faible saveur saline qui ne se manifeste plus quand l'altération est plus avancée. Comment l'alcali peut-il être mis en liberté? il faut nécessairement qu'un acide plus puissant que la silice le déplace de sa combinaison avec cette terre. Or, l'acide carbonique est tellement répandu dans la nature, qu'on est porté naturellement à le regarder comme la cause première de cette réaction. Cet acide, comme on sait, est absorbé, condensé facilement par l'eau et les corps poreux. Le feld-spath, quand il est désagrégé et terreux, jouit des mêmes propriétés que ces corps. Il

absorbe donc l'acide carbonique, qui réagit sur les silicates et s'empare de leurs bases les plus fortes. La silice est mise en liberté à un état gélatineux qui lui permet de se dissoudre en certaine quantité, à la vérité, dans les eaux et dans les carbonates alcalins; elle est alors entraînée par elles, et donne naissance, suivant les circonstances, à des cristaux de quartz hyalin, des fiorites, des agates, des opales, des concrétions calcédoines et des silicates de nouvelle formation, telles que les mésotypes, les chabasies, etc.

Cette théorie s'appuie sur deux suppositions : la première, qui n'est pas encore démontrée, que les molécules des roches d'origine ignée ne prennent pas un état d'équilibre permanent lors de leur solidification et qu'elles éprouvent, par la suite des temps, un effet de dimorphisme qui amène leur décomposition; la seconde, que l'acide carbonique est ensuite absorbé par ces roches, et y détermine la séparation de leurs éléments. Cette seconde supposition est très-admissible, car on a un grand nombre d'exemples de l'influence qu'exerce l'acide carbonique sur plusieurs substances minérales pour amener leur décomposition. Nous allons passer ici en revue quelques-uns de ces effets.

Dans la vallée de Châtel-Guyon, en Auvergne, les nombreuses sources d'eaux minérales qui s'échappent de toutes les fissures du granite exercent une action dissolvante telle, qu'elles ont creusé cette roche, et y ont formé de petits bassins irréguliers qu'elles remplissent de fer hydraté.

Dans le filon du Pré, voisin des mines de Barbecot, une explosion de poudre donna issue à un jet d'eau très-violent chargé d'acide carbonique fortement condensé. L'eau, dans les premiers moments, était surchargée d'une matière argileuse, blanche, tenue en suspension. En examinant les localités, on reconnut que cette eau s'écoulait au travers d'une masse de baryte sulfatée très-caverneuse. Ce sulfate était altéré sur une certaine épaisseur et carié à un tel point, que la forme cristalline de la

baryte avait été mise à nu comme le moiré métallique. Les mêmes eaux avaient exercé une action dissolvante sur les fragments de stéaschiste qui étaient empâtés dans le sulfate de baryte. Ces fragments étaient en partie désagrégés, en partie cariés, et quelquefois il n'en restait plus que les grains quartzeux et les lamelles talqueuses.

La conversion du feld-spath et autres roches ignées en hydro-silicates d'alumine, peut encore avoir été provoquée par des dissolvants faibles, tels que des eaux vitrioliques.

§ IV. *Décomposition du fer spathique.*

Nous avons vu précédemment des roches qui commencent par se désagréger avant de se décomposer; il en est d'autres qui s'altèrent de la surface au centre en conservant leur forme, sans que l'on puisse remarquer des apparences de désagrégation. L'exemple le plus frappant que je puisse citer de ce mode de décomposition est celui du fer carbonaté magnésifère cristallisé ou fer spathique. L'altération de ce minerai a lieu assez rapidement non-seulement à son exposition à l'air, mais encore dans l'intérieur des filons, et quelquefois sans qu'il change de forme.

J'ai examiné sur place plusieurs mines de fer spathique, entre autres celles de Vizille et d'Allevard, département de l'Isère, et j'ai reconnu, surtout dans la première de ces deux localités où il existe des galeries placées les unes au-dessus des autres, que la décomposition est d'autant plus grande que le minerai est plus rapproché du sol, c'est-à-dire, qu'il éprouve davantage l'action de l'air, de l'eau et des agents atmosphériques. Les mineurs savent parfaitement que plus on s'enfonce dans la terre, moins le minerai est altéré. Cette marche graduelle de son altération est surtout remarquable à la mine du Vent (Vizille), qui est exploitée presque à fleur de terre. La partie supérieure est devenue tout-à-

fait terreuse, et ne paraît renfermer que de l'hydroxide de fer.

Dans le Dauphiné, surtout à Allevard, on voit apparaître quelquefois, au-dessus des terrains qui renferment du fer spathique, des flammes qui portent le nom d'essorements. Ce phénomène a été observé par un si grand nombre de personnes, que je crois devoir en faire mention ici en le décrivant tel qu'on me l'a rapporté, sans en garantir autrement l'authenticité. La hauteur de ces flammes est quelquefois considérable. Là où elles se montrent, on aperçoit des fissures, et si le phénomène se produit dans l'hiver, la neige est fondue à l'entour. En pénétrant dans le sol, on reconnaît que le minerai est fortement altéré; aussi les habitants d'Allevard regardent-ils la présence de ces flammes comme un indice d'un gîte riche en fer spathique.

Ce phénomène, si toutefois il existe, doit être attribué à la décomposition des masses considérables de fer spathique qui se trouvent dans cette contrée.

Ce minerai, qui renferme toujours des carbonates de manganèse et de magnésie en diverses proportions, est d'un blanc un peu blond; il prend assez promptement une teinte jaunâtre ou brune par l'effet d'une décomposition, et se change en un mélange de peroxide et d'hydrate de peroxide. Il paraît, comme l'a avancé le premier M. Berthier, que le fer et le manganèse, en se suroxidant et se changeant pour la plus grande partie en hydrate, abandonnent leur acide carbonique, qui se porte sur le carbonate de magnésie et le transforme en bicarbonate soluble que les eaux entraînent facilement.

Le résultat de la décomposition du fer spathique nous annonce donc une oxidation et une formation d'hydrate, et par conséquent la présence de l'eau; dès lors, ne pourrait-on pas admettre qu'une portion de cette eau a été décomposée pour oxider le fer, et que l'hydrogène est devenu libre? Mais, comme ce gaz n'a pu se dégager qu'après avoir acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance que lui présentaient les roches adjacentes, il

a dû s'accumuler dans les cavités, d'où il a fait éruption à l'extérieur en brisant ces roches. A l'instant de son contact avec l'air, il aura pu s'enflammer à la manière des météores qui voltigent quelquefois à la surface de la terre dans certaines localités.

Les gangues ordinaires du fer spathique sont: le quartz la baryte sulfatée; il est accompagné de fragments de diverses roches, de pyrites de fer et de cuivre, de galène, de cuivre gris, de fer oxidé magnétique, etc. Toutes ces substances doivent éprouver des effets plus ou moins marqués de la décomposition du fer spathique. Aussi les personnes qui veulent acquérir quelques notions sur les altérations qu'éprouvent, dans la terre, les substances minérales, doivent-elles porter toute leur attention sur les gisements de ce minerai. Quelques exemples donneront une idée des réactions qui s'y opèrent. M. Chapert a trouvé dans une mine de fer spathique, abandonnée depuis long-temps, un morceau de bois recouvert de cuivre carbonaté vert soyeux, qui provenait indubitablement de la décomposition des pyrites cuivreuses. Dans la même localité, il a recueilli des cristaux d'arragonite, qui peuvent avoir été produits par le remaniement du carbonate de chaux qui accompagne quelquefois le fer spathique. Je dois faire remarquer que les galeries de mines de fer spathique sont très-fréquemment inondées. L'eau renferme du fer tenu en dissolution par l'acide carbonique, lequel se dépose peu à peu sur le sol sous la forme d'ocre. M. Chapert a fait une observation qui n'est pas sans intérêt pour l'électrochimie. Lorsque certains minerais de fer spathique ont été grillés et qu'on les abandonne aux actions spontanées, il se forme en quelques jours du sulfate de magnésie, du sulfate de fer et même du carbonate de cuivre. Nous reviendrons plus tard sur les diverses réactions qui s'opèrent alors.

Dans les mines de fer d'Allemont, surtout dans celle qui porte le nom du Grand-Bois et dont le minerai est complétement décomposé, puisque souvent il est en

poussière, on trouve plusieurs substances qui sont évidemment de nouvelle formation, entre autres du carbonate et du sulfate de plomb, qui ont dû être produits par la décomposition du sulfure de plomb; j'y ai trouvé aussi en abondance du sulfate de chaux cristallisé, du cuivre carbonaté vert soyeux sur des morceaux de quartz; du fer hématite concrétionné, recouvert de peroxide de manganèse d'un brillant argentin. Ces deux produits sont évidemment le résultat de la décomposition du fer spathique et du remaniement par les eaux des peroxides de fer et de manganèse.

J'ai déja mentionné les altérations de certains sulfures, je crois devoir y revenir pour signaler quelques faits qu'il est nécessaire de connaître.

On distingue quatre sortes de pyrites: la pyrite commune, qui se trouve dans tous les terrains et dont la décomposition est assez rapide; la pyrite blanche, qui a la même composition, mais non plus la même forme : quelques-unes se conservent bien à l'air, mais la plupart s'effleurissent et se transforment en sulfates. Il paraît que cet effet vient, suivant M. Berzelius, de ce que ces dernières sont mélangées mécaniquement de protosulfure de fer qui entre promptement en décomposition. Les pyrites magnétiques sont des combinaisons de proto et de persulfure de fer. Quelques variétés se décomposent à l'air et se changent en hydrate de peroxide sans changer de forme : ce sont particulièrement celles qui renferment de l'or.

Parmi les substances qui résultent de la décomposition des pyrites, on cite particulièrement: 1° le sulfate neutre de fer; 2° le sulfate terreux ou pittizite de M. Berzelius, substance jaune brunâtre, résinoïde ou terreux, compacte, mamelonné ou terreux; 3° l'ocre de rue, matière pulvérulente, d'un jaune brun qui provient de la décomposition à l'air du sel neutre; enfin, des sulfates doubles de fer et d'alumine, de manganèse, de chaux, de zinc, etc. Les pyrites cuivreuses donnent également naissance par leur décomposition au sulfate

de cuivre, à des sous-sulfates ainsi qu'à des doubles sulfates.

Je ne puis entrer ici dans l'examen des transformations qu'éprouvent d'autres sulfures; je les exposerai avec détails en traitant de l'altération des différentes substances minérales.

Je dois dire cependant que les pyrites se forment quelquefois dans les tuyaux de conduite de certaines eaux minérales, comme M. Lonchamp en a observé à Chaudes-Aigues, et moi-même à Aix, en Savoie.

§ V. *Des altérations des laves et des produits qui s'y forment.*

Si nous portons nos regards sur les roches volcaniques anciennes et modernes, nous voyons que les filons de basalte altèrent ou ont altéré les substances qui les environnent. Dacosta, qui a comparé le calcaire de la chaussée des Géants avec celui qui est en contact avec le basalte, a trouvé des différences notables. Dans le calcaire qui est en contact, la cassure est devenue brillante, sa dureté est un peu plus grande, sa pesanteur spécifique a augmenté sensiblement. Quant à leur composition, il n'a trouvé de différence que dans la silice, qui est nulle dans le calcaire à distance. Il résulte de là que le contact du basalte a modifié simplement le mode d'agrégation du calcaire, sans changer la quantité de leurs parties constituantes, puisque l'un et l'autre n'ont pas perdu leur eau. Cette différence cependant, dans le mode d'agrégation, n'est pas toujours constante, car M. Brongniart (1) n'en a trouvé aucune à Aubenas (Ardèche) dans un filon de basalte très-compacte traversant des couches également régulières de calcaire compacte.

Le granite se décompose facilement dans le voisinage

(1) Diction. des Scienc. nat., t. LVIII, p. 372.

des filons de basalte, comme on en a des preuves dans les îles d'Écosse et aux environs de Clermont. Les fragments de granite que l'on trouve dans le basalte ont, au contraire, une couleur gris jaunâtre et une cassure brillante.

Le schiste argileux se change en schiste siliceux (îles d'Écosse) ou en une masse jaspoïde (siegen Druidenstein, près Heckersdorf).

Le grès se crevasse, les substances métalliques se subliment, l'argile se fond. Le lignite perd son bitume, ainsi que la houille, qui se change en anthracite. Tous ces changements ont été produits très-probablement quand le basalte possédait une température élevée.

Toutes les laves des volcans éteints n'éprouvent pas des décompositions capables de rendre leurs éléments à la végétation. Ces décompositions dépendent plutôt de la nature des laves et de leur mode d'agrégation que de leur ancienneté relative, car en Auvergne et dans le Vivarais il existe encore des coulées qui sont aussi intactes que si elles venaient de s'épancher sur le terrain, tandis que des laves du Vésuve, qui ne sont pas d'une origine très ancienne, sont déja rendues à la culture. Cette différence tient à leur structure, et c'est pour ce motif que les laves vitreuses n'éprouvent que des altérations excessivement lentes.

En Auvergne, les laves pyroxéniques se décomposent visiblement plus vite que les laves labradoriques de Côme, de la Nugère de Pariou. Ce qui prouve que la nature des laves a de l'influence.

Les débris de roches qui ont été entraînés par des cours d'eau de nature quelconque et qui se sont mêlés avec des corps organiques de diverses natures, ont donné naissance, suivant la grosseur des fragments, soit à des roches d'agrégation dont l'origine est bien aqueuse, soit à des dépôts qui ont formé des terrains de sédiment qu'on appelle *moya*. Ces derniers donnent à l'analyse tous les produits qui constituent les matières organiques et en outre de la silice, de l'argile, du calcaire, du fer et du carbonate de soude.

Parmi les roches d'agrégation formées par sédiment, on peut citer peut-être la wake, qui paraît être le résultat d'un sédiment boueux; elle renferme ordinairement des veines ou parties cristallines de calcaire, et ses fissures sont quelquefois tapissées de cristaux appartenant à la famille des zéolithes, et en outre des minéraux engagés, qui ont été formés avant sa production; la péperine, qui recouvre les terrains basaltiques et renferme des débris organiques, tels que des ossements d'éléphants (*Viterbe*). La wake se trouve encore dans d'autres localités, dans des roches de gneiss et de schiste, où elle forme des filons qui renferment diverses substances métalliques.

En examinant la manière d'être des cristaux qui se trouvent au milieu des roches basaltiques et autres analogues, on est porté à croire qu'ils se sont formés après la consolidation de la masse et un refroidissement suffisant, puisque la plupart d'entre eux qui appartiennent à la famille des zéolithes, sont altérés par une chaleur incandescente et renferment de l'eau de cristallisation qui peut être enlevée par une température un peu élevée.

M. Brongniart n'admet pas, pour la formation de ces cristaux, l'infiltration de beaucoup postérieure à la consolidation et au refroidissement complet de ces roches souvent si homogènes et si denses, attendu qu'on ne connaît aucun liquide dissolvant susceptible d'amener dans ces cavités peu étendues les quartz, les mésotypes, les sulfates de baryte et de strontiane qu'on y voit en cristaux si volumineux et si nets. Il croit qu'en admettant que la masse molle de ces roches était comme imbibée de ces dissolutions, aussi concentrées qu'on voudra le supposer, on peut se figurer que les parties de la roche, en cristallisant confusément, en se solidifiant et se rapprochant, ont comme comprimé et fait suinter dans les cavités une partie même de ces dissolutions et y ont déposé les composés qui, par leur nature, ne pouvaient cristalliser au milieu de la masse, dont la température était très-élevée, et cela par un procédé analogue à

celui qui tapisse les cavités bulbeuses des mattes de cuivre de filaments de ce métal natif et les cavités des argiles de filaments du sulfate de fer qui se forme au milieu d'elles, etc.

On peut objecter à la théorie de M. Brongniart que, lorsqu'on brise des masses de basalte qui ont été enfouies dans des endroits humides, on trouve que les cavités intérieures sont remplies d'eau. Suivant M. Fournet, la formation des zéolithes est due à un transport par l'eau des éléments qui proviennent de la décomposition des roches environnantes.

§ VI. *Décomposition des matières organiques.*

Si nous abordons maintenant les matières organiques, nous voyons que la tourbe se forme, de nos jours, aux dépens des plantes herbacées qui croissent dans nos marais. Souvent les dépôts sont séparés par des couches de limon et de matières sablonneuses, au milieu desquelles se déposent des coquilles fluviatiles et terrestres, des débris de l'industrie humaine, et même des pyrites.

Il n'existe pas de tourbières dans toutes les localités. En général, il ne se forme de la tourbe ni dans les eaux courantes, ni dans les masses d'eau stagnante profondes, ni dans les marais qui se dessèchent pendant les chaleurs de l'été, ni dans les eaux qui renferment quelques sels en solution. Le mode de décomposition qu'éprouvent toutes les matières organiques, doit attirer toute notre attention. Davy (1), dans l'examen qu'il a fait des manuscrits d'Herculanum, a trouvé qu'ils n'avaient pas été carbonisés par l'action du feu et qu'ils se trouvaient dans un état analogue à une sorte de tourbe; leurs feuilles étaient réunies en une seule masse par une substance particulière produite dans une longue suite de siècles,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. x, p. 44.

par la fermentation et les changements chimiques de la matière végétale.

Il n'est pas jusqu'aux débris d'animaux qui ne donnent naissance également à des composés particuliers; on doit ranger dans cette classe le guano, qui est en dépôts de 50 à 60 pieds d'épaisseur et d'une étendue considérable sur les côtes du Pérou, où M. de Humboldt les a observés. Ces dépôts ont été formés par les excréments d'une multitude innombrable d'oiseaux du genre des hérons et des flammants qui habitent des îlots.

M. Necker de Saussure a vu, dans les mines de fer de la Carniole, des dents et des os d'*ursus spelæus*, dont la surface paraissait avoir été corrodée par un acide.

M. Brongniart a fait des réflexions intéressantes sur la transformation par épigénésie des matières orga niques des coquilles en silice, dans un Mémoire sur les orbicules siliceuses.

Si nous examinons l'intérieur des corps organisés, nous y trouvons dans quelques-uns des cristaux de substances que l'on rencontre dans la terre et qui sont sécrétés par les divers liquides qu'ils renferment. C'est ainsi que M. Turpin (1) a découvert dans l'œuf du limaçon des jardins de nombreux cristaux rhomboèdres de carbonate de chaux, sur la paroi intérieure de son enveloppe.

Le tissu cellulaire des feuilles de cactus renferme des cristaux, dont quelques-uns appartiennent à l'oxalate de chaux; il en est de même du tissu médullaire des palmiers, etc.

Si je rapportais ici toutes les décompositions spontanées auxquelles sont sujettes les matières organiques, dès l'instant qu'elles cessent de se trouver sous l'empire des forces vitales, je serais obligé de rappeler une infinité de phénomènes qui rentrent dans le domaine de

---

(1) Annles des Sciences naturelles, 1832.

la chimie et de m'éloigner par conséquent du plan que je me suis tracé.

§ VII. *Des substances qui absorbent de l'ammoniaque; de la nitrification et de certaines propriétés chimiques des corps poreux.*

La présence de l'ammoniaque dans un grand nombre de corps est un fait remarquable, dont nous devons faire mention dans cette notice, parce qu'il a des rapports avec les phénomènes qui nous occupent.

On a déja vu que lorsqu'on mouille avec de l'eau distillée des lames de fer, de plomb, de zinc ou d'étain, il se forme immédiatement de l'ammoniaque par suite de la combinaison de l'hydrogène de l'eau avec l'azote de l'air. L'effet est le même quand on opère avec un couple voltaïque ou une pile. Cela tient à ce que les lames d'un métal oxidable deviennent elles-mêmes des éléments voltaïques, aussitôt qu'il y a quelques parties oxidées sur leur surface.

M. Vauquelin (1), qui avait été chargé par le tribunal de première instance de Paris d'examiner la nature des taches de rouille qui se trouvaient sur un sabre, que l'on soupçonnait avoir servi à un assassinat, trouva qu'elles renfermaient de l'ammoniaque, comme toutes les taches de rouille en général. Il en tira alors la conséquence que la rouille qui se forme dans l'intérieur des maisons, est capable d'absorber des vapeurs ammoniacales; mais il ne peut en être ainsi, comme les expériences citées ci-dessus l'indiquent, puisque les taches de rouille deviennent les pôles négatifs des petites piles qui se forment sur la surface du fer, quand le métal s'oxide; il est tout simple que l'ammoniaque se porte sur ces taches, qui peuvent l'absorber en vertu de leur porosité.

M. Chevalier (2) ayant introduit des tournures de

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIV, p. 99.
(2) *Idem*, t. XXXIV, p. 109.

fer bien nettes avec de l'eau dans un flacon dont l'ouverture plongeait dans le mercure, au bout de dix heures, du papier de tournesol, qui avait été rougi, fut introduit dans le flacon et ramené au bleu. Quatre jours après, l'eau, saturée avec de l'acide hydro-chlorique, donna de l'hydro-chlorate d'ammoniaque.

Le fer oligiste, le fer oxidulé, l'yénite, le fer oxidé terreux, etc., chauffés dans un tube, lui ont donné de l'ammoniaque. Tous ces corps avaient été lavés préalablement avec de l'eau bouillante, afin d'enlever toutes les matières azotées qui pouvaient être adhérentes aux surfaces.

La présence de l'ammoniaque a été reconnue, dans l'eau ferrugineuse de Passy, après l'évaporation.

Ces résultats semblent donc annoncer que tous les oxides de fer trouvés dans la terre sont dus à la décomposition de l'eau.

M. Boussingault (1) s'est occupé de la même question. Les oxides de fer qui ont séjourné dans les maisons habitées, ayant pu absorber des émanations animales, il a cherché si l'oxide de fer naturel contient de l'ammoniaque immédiatement après sa sortie de la terre. Dans une mine d'or de Cumba, où se trouve un filon puissant de fer oxidé, il a pris un fragment de ce dernier et l'a traité par l'eau acidifiée et par l'acide hydro-chlorique. L'eau de lavage ayant été évaporée, le résidu a été introduit avec un morceau de chaux vive dans un tube de verre fermé par un bout; en humectant le mélange et chauffant légèrement, il s'est dégagé de l'ammoniaque. M. Boussingault en a conclu que cet alcali existait tout formé dans les oxides de fer.

M. Faraday (2) a fait une série d'expériences pour déterminer quelques-unes des circonstances dans lesquelles se forme l'ammoniaque. Il mit un petit morceau

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLIII, p. 334.
(2) *Idem*, t. XXVIII, p. 435.

de feuille de zinc bien propre dans un tube de verre avec un morceau de potasse, et plaça à deux pouces au-dessus une bande de papier de curcuma; puis il chauffa l'extrémité de manière à fondre la potasse. Le papier fut rougi. La potasse, chauffée sans le zinc, ne donna aucun résultat. La production de l'ammoniaque ne peut pas être attribuée à la présence de l'azote, puisque l'expérience, répétée dans l'hydrogène, lui a donné le même résultat. La soude, la chaux et la baryte se sont comportées comme la potasse. Le potassium, le fer, le zinc, l'étain, le plomb et l'arsenic en fournissent beaucoup. L'éponge de platine, l'argent, l'or ne produisent rien de semblable. Des substances dans lesquelles on ne peut supposer de l'azote, ont donné des quantités très-sensibles d'ammoniaque. Les oxides métalliques, comme ceux de manganèse, d'étain, de plomb, etc., n'agissent pas de la même manière.

Suivant M. Faraday, l'eau paraît être nécessaire au succès de l'expérience, parce qu'elle fournit l'oxigène aux métaux qui s'oxident, ainsi que la présence d'une matière organique adhérente à l'alcali ou à la terre qu'on ajoute.

Ces résultats sont certainement intéressants, en ce qu'ils montrent que l'on doit prendre de grandes précautions, quand on veut reconnaître si l'ammoniaque existe tout formé dans certains corps. Mais le mode d'expérimentation de MM. Chevalier et Boussingault étant différent de celui dont on a fait usage M. Faraday, et de plus, le fer, quand il s'oxide spontanément à l'air, donnant naissance à de l'ammoniaque, il paraît tout simple que les oxides de fer naturel en renferment, en admettant toutefois que ces oxides aient été formés ainsi.

Souvent il se dégage du sel ammoniac des houillères embrasées : d'une de ces houillères (1), on a vu sortir à la surface du terrain une grande quantité de fumerolles, qui exhalaient, indépendamment des produits or-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXI, p. 158.

dinaires de la combustion, de la houille, du sel ammoniac en vapeur, qui se condensait sur les corps environnants.

Je crois devoir donner ici le précis des connaissances que nous possédons sur la formation spontanée du nitre; ce sel existe en efflorescence sur le sol en Égypte, aux Indes, en Amérique et dans quelques parties du midi de l'Europe; il se trouve aussi dans le calcaire secondaire, principalement dans celui qui est poreux. M. J. Davy (1), qui a examiné les nitrières naturelles de l'île de Ceylan, pense que l'acide nitrique se forme aux dépens des éléments de l'air, dans une roche poreuse et humide, formée de feld-spath et de calcaire. Le nitre se trouve à la surface de la roche, combiné avec les nitrates de chaux et de magnésie. Dans l'île, on attribue leur formation aux excréments des chauves-souris qui y résident; mais M. J. Davy réfute cette opinion, en faisant remarquer que dans la nitrière de Memorra, on y trouve également du salpêtre, quoiqu'il n'y ait aucun indice de matières animales. Au prétendu volcan de Chalusset, près de Pont-Gibaud en Auvergne, il existe une coulée de lave très-poreuse, qui forme un escarpement abrupte et très-élevé au-dessus de la Sioule, et dont l'intérieur renferme du salpêtre disséminé en petites houppes cristallines blanches. Je ferai remarquer que la lave se décompose en plusieurs points, et qu'elle est éloignée des habitations. On forme artificiellement le nitre, en exposant à l'influence des agents atmosphériques un mélange de matières animales, de cendre et de terre calcaire, que l'on arrose avec de l'urine. Deux ou trois ans suffisent pour convertir tout l'azote en acide nitrique (2). On prétend avoir remarqué qu'on obtient plus de nitrate de potasse que n'en peut fournir la potasse primitivement contenue dans la terre. Si ce fait

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxv, p. 209.
(2) Traité de Chimie de Berzelius, t. iii, p. 391.

était exact, il s'ensuivrait que la potasse se formerait spontanément.

On admet généralement que la formation spontanée des nitrates exige le concours de bases fortes ou de leurs carbonates, d'une certaine quantité d'humidité de l'air, et d'une température de 15 à 20 degrés; mais le point de divergence entre les diverses opinions qui ont été émises, est relatif à la présence de matières animales, que plusieurs chimistes regardent comme indispensables pour la nitrification, tandis que d'autres la considèrent seulement comme utile.

Les uns pensent que la matière nitrifiable est une substance poreuse, humide, renfermant des bases énergiques et capables de condenser les éléments de l'air, au point de déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'azote, pour former de l'acide nitrique et des nitrates; les autres croient que les bases seraient insuffisantes sans le concours de l'ammoniaque, qui résulte de la décomposition des matières animales; enfin, quelques chimistes regardent les matières azotées comme tout-à-fait indispensables.

Je vais encore décrire quelques localités où le nitre se forme plus ou moins rapidement. M. Gaulthier de Claubry (1) a fait un travail sur les calcaires nitrifiables du bassin de Paris, et en particulier sur ceux de la Roche-Guyon. Voici les principaux phénomènes qu'il a observés : Le calcaire qui se nitrifie est une craie très-poreuse, dont les couches sont coupées à pic et exposées au midi à l'action directe des rayons solaires. Les parties qui sont au nord n'en fournissent que très-peu.

Le salpêtre se dépose particulièrement sur les arêtes des entailles faites avec la hache des exploitants et sur les bords des silex. La nitrification cesse là où il se trouve de petites couches de calcaire grossier. L'action

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. LII, p. 24.

est rapide; car on gratte la surface des couches qui se forment journellement plusieurs fois par an. La nitrification est abondante dans les saisons chaudes et humides; elle l'est moins dans les saisons chaudes et sèches, et encore moins dans les saisons froides et humides.

Les nitrières sont éloignées des habitations.

On voit donc que le nitre se forme, dans cette localité, à l'action des rayons solaires, tandis qu'en Suède, les nitrières artificielles ne réussissent qu'à la faveur d'une obscurité parfaite.

M. Dumas, qui a examiné les localités, pense que la craie nitrifiable ne renferme pas assez de matières animales pour que l'on puisse attribuer à celles-ci la formation presque indéfinie des nitrates, mais qu'il pourrait se faire que la grande quantité de vapeurs chargées de matières organiques, qui s'élèvent des terrains environnants et de la Seine, qui coule au bas de la colline, fussent absorbées par la craie et y déposassent les résidus organiques nécessaires à la formation du nitre.

M. Gaulthier de Claubry prétend qu'il est parvenu à prouver que le carbonate de chaux, qui ne renferme aucune trace de matières organiques, peut se nitrifier sous la seule influence de l'air et de l'humidité, et que c'est par celle de l'ammoniaque qu'elles produisent que les substances azotées donnent naissance à l'acide nitrique.

M. Fournet a donné récemment une théorie de la nitrification qui est assez rationnelle : il pense que la nature peut produire l'acide nitrique, sans le concours des matières organiques, par la seule réaction des éléments de l'air et de la vapeur d'eau. Suivant M. de Saussure, l'oxigène est plus condensé par les corps poreux que l'azote, dans le rapport de 6,50 à 4,02. De plus, MM. Gay-Lussac et de Humboldt ont observé que l'air, dégagé de l'eau par l'ébullition, contient d'autant plus d'oxigène que les diverses fractions de ce gaz ont été recueillies plus tard. Il en résulte que l'oxigène est non-seulement retenu avec une grande force; mais ce qu'il

y a de remarquable, c'est que la composition des dernières parties de gaz approche beaucoup de celle du protoxide d'azote. M. Fournet en a conclu qu'il pourrait se faire que les actions réunies des corps poreux et de l'eau sur les éléments de l'air produisissent d'abord du protoxide d'azote, puis du nitrate d'ammoniaque, attendu que l'on sait que ce dernier sel se décompose en protoxide d'azote et en vapeur d'eau.

Ce nitrate une fois formé réagit sur les carbonates alcalins, leur cède son acide et se change en nitrate de potasse, tandis que l'ammoniaque se combine avec l'acide carbonique et se dégage.

M. Fournet appuie sa théorie sur plusieurs faits connus, et en particulier sur ce que l'étincelle électrique, en traversant l'air, forme du nitrate d'ammoniaque que l'on retrouve en dissolution dans les pluies d'orage.

J'ajouterai aux détails que je viens de présenter une observation qui pourra être prise en considération par les personnes qui s'occupent de la théorie de la nitrification, c'est que, dans toute action électro-chimique, quelque faible qu'elle soit, si l'eau est décomposée au contact de l'air, il y a toujours formation d'ammoniaque.

Le phénomène de la nitrification, dans les roches poreuses, me conduit à parler des propriétés dont jouissent les éponges métalliques et autres corps poreux, ou en parties très-divisées, de produire des actions chimiques.

Fontana a découvert que lorsqu'on laisse refroidir du charbon en ignition dans un milieu hermétiquement fermé, il acquiert la propriété d'absorber plusieurs fois son volume de gaz. Rouppe Morozzo et Horden ont étudié ce phénomène, tandis que M. de Saussure en a trouvé la cause. Il a déterminé combien le charbon condensait de fois son volume la plupart des gaz connus. L'absorption dure pendant 24 ou 36 heures, excepté dans le gaz oxigène, parce qu'il se forme du gaz acide carbonique, que le charbon retient dans ses pores; mais néanmoins il y a une limite. Cette propriété du

charbon appartient à tous les corps poreux; néanmoins elle n'est pas la même pour tous. Les dimensions des pores entrent pour beaucoup dans la propriété absorbante; ainsi le charbon de liége, qui en a de très-grands, ne peut rien absorber. Diverses expériences portent à croire que ce phénomène est en grande partie mécanique.

M. de Saussure a reconnu que le graphite, en raison de sa densité, ne condense rien, que l'écume de mer, le schiste happant de Ménilmontant, l'asbeste, etc., dont on a retiré l'air avec la machine pneumatique, absorbent plusieurs fois leur volume de gaz.

Quand on opère dans des mélanges de gaz, chacun d'eux est absorbé en raison de son attraction pour les corps poreux. On a remarqué que certains gaz sont plus condensés, quand ils se trouvent ensemble que séparés. Nous citerons pour exemple l'hydrogène et l'oxigène, l'acide carbonique et l'oxigène. On ne peut attribuer cet effet à une combinaison, car les deux premiers sont expulsés par la chaleur, sans que l'on aperçoive aucune trace d'eau. Il n'en est pas de même de l'hydrogène sulfuré et de l'oxigène, car il résulte de leur absorption de l'eau et un dépôt de soufre. Je ferai encore remarquer que, lorsqu'un liquide mouille un solide, il y a dégagement de chaleur (1). Ce phénomène montre qu'à l'instant où s'exerce l'action capillaire, il se passe dans les molécules des corps un ébranlement analogue à celui que l'on remarque dans les combinaisons. Les effets électriques observés dans les mêmes circonstances conduisent à la même conséquence. M. Pouillet, qui s'est occupé de cette question, a soumis successivement à l'expérience, parmi les substances végétales, le charbon, l'amidon, le bois, les écorces, etc., et, parmi les substances animales, la soie, la laine, l'éponge, les cheveux, les tendons, etc.; la température n'a jamais été moindre de deux degrés, et elle s'est élevée

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xx, p. 41.

jusqu'à dix degrés avec l'amidon, la racine de réglisse pulvérisée, etc. Ayant cherché à déterminer l'espèce de combinaison que l'eau forme avec les corps organisés, il a trouvé que la quantité d'eau absorbée n'est ni congelée dans leur intérieur, ni combinée chimiquement avec leurs éléments. Enfin il a conclu de ses observations, que les effets capillaires et ceux de l'absorption sont dus à la même cause.

M. Dobœreiner a donné une plus grande extension aux propriétés absorbantes des corps poreux. Lorsque ceux-ci sont métalliques, il a découvert qu'une éponge de platine devient incandescente lorsqu'on la place à l'endroit où l'hydrogène qui s'échappe d'un réservoir se trouve intimement mêlé avec l'air.

MM. Dulong et Thénard (1), qui ont étudié cette propriété, ont reconnu les faits suivants : Si l'on plonge une éponge de platine dans un mélange de deux parties d'hydrogène et d'une d'oxigène, il y a détonation, et s'il s'y trouve un gaze étranger, tel que l'azote, la combinaison s'effectue lentement, la température s'élève peu à peu, et l'on voit bientôt l'eau se condenser sur la cloche.

L'éponge de platine, fortement calcinée, perd la propriété de devenir incandescente dans le mélange détonnant, mais elle possède encore la propriété de produire lentement la combinaison des deux gaz.

Une feuille de platine très-mince, enroulée sur un cylindre de verre, ne produit aucun effet dans le mélange détonnant, tandis qu'elle agit, lorsqu'elle est chiffonnée, comme une bourre de fusil.

Les fils et les lames de platine, dont l'action est nulle à la température ordinaire, agissent lorsqu'on l'élève à deux ou trois cents degrés. D'autres corps produisent les mêmes effets par l'élévation de la température.

L'oxide de carbone et l'oxigène se combinent ensemble, et le gaze nitreux est décomposé par l'hydrogène,

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIII, p. 440.

en présence de l'éponge de platine. Le gaz oléfiant, mêlé d'une quantité convenable d'oxigène, est transformé complétement en eau et en acide carbonique, à une température supérieure à trois cents degrés.

Le charbon, la pierre-ponce, la porcelaine, le cristal de roche, déterminent la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, à des températures inférieures à trois cent cinquante degrés. Néanmoins il y a des différences très-notables entre les quantités d'eau formées dans le même temps, avec des fragments de verre, suivant qu'ils sont anguleux ou arrondis. A surface égale, les premiers produisent un effet double de celui des seconds; enfin, si l'on prend des faisceaux de fil de platine, qui n'agissent qu'à une température de cinquante à soixante degrés, qu'on les plonge dans l'acide nitrique, ils s'échauffent ensuite à la température ordinaire, après avoir été lavés et séchés. Les acides muriatique, sulfurique concentrés, produisent les mêmes effets, mais d'une manière moins marquée. A l'air libre, cette propriété se conserve seulement quelques heures; si le fil est renfermé dans un vase, elle subsiste plus de 24 heures. Elle se perd en cinq minutes lorsque l'on plonge le fil dans une petite quantité de mercure isolée. Un courant rapide de différents gaz la détruit en peu de temps. La potasse, la soude, l'ammoniaque, n'enlèvent pas la propriété communiquée au fil par le contact de l'acide nitrique : les deux premières substances paraissent même la ranimer.

Aussitôt qu'on eut connaissance des phénomènes que je viens de rapporter, on voulut leur reconnaître une origine électrique; mais toutes les tentatives qui furent faites pour y constater la présence de l'électricité libre, furent vaines, et cela se conçoit.

En effet, quand l'oxigène et l'hydrogène sont condensés par l'éponge de platine, ils peuvent réagir l'un sur l'autre, et les deux électricités qui se dégagent dans cette action se recombinent par l'intermédiaire du platine, d'où résulte une infinité de petits courants électriques, qui augmentent la réaction des deux gaz l'un

sur l'autre, conformément au principe que nous avons déja fait connaître, savoir, qu'une action faible entre deux corps augmente d'intensité si l'on établit entre eux un courant électrique avec les deux électricités dégagées par suite de cette action. Voilà, je crois, comme il faut envisager le phénomène. Aussi il est naturel que l'on n'ait pu recueillir d'électricité de tension là où il n'existe que des courants. La température qu'acquièrent les éponges est due non-seulement à l'action chimique, mais encore à la grande quantité de courants électriques qui parcourent les parties constituantes de l'éponge.

§ VIII. *A-t-on l'espoir de trouver des moyens d'évaluer par approximation l'époque de la dernière révolution du globe?*

Ne pourrait-on pas remonter à l'époque de la dernière catastrophe du globe, en comparant les altérations qui ont eu lieu depuis quelques siècles dans les granites exposés aux influences atmosphériques, à celles qui se sont opérées depuis la dernière révolution dans les masses de même granite en place? A la vérité, il faut supposer que les causes de décomposition qui existaient alors n'ont pas changé; mais cette supposition est admissible, depuis que l'on sait, par un grand nombre de faits, que l'état de l'atmosphère et celui du globe n'ont pas sensiblement changé depuis cette révolution. Au surplus, quels sont les principes sur lesquels on s'appuie en géologie pour remonter à cette époque? 1° Les données historiques; elles nous fournissent peu de lumières. 2° L'accroissement des atterrissements le long des fleuves ou sur les côtes de la mer; mais la nature a-t-elle toujours agi d'une manière uniforme pour produire ces atterrissements? Dans les premiers temps, la terre était jonchée de débris de roches de toute nature, qui ont été charriés par les eaux, les atterrissements ont donc dû s'accroître plus rapidement que maintenant. Au surplus, je ne connais pas de calcul bien positif qui nous donne la

marche graduelle de ces dépôts. M. Cuvier, qui a discuté cette grande question, dans son Discours sur les révolutions du globe, avance que, si l'on examine avec attention ce qui s'est passé à la surface du globe, depuis qu'elle a été mise à sec pour la dernière fois, on reconnaît que la dernière révolution, et par conséquent l'établissement de nos sociétés actuelles, ne peut pas être très-ancienne. Pour arriver aux preuves, il avance qu'il suffit de mesurer les effets produits, dans un temps donné, par les causes qui agissent aujourd'hui, et de les comparer avec ceux qu'elles ont produits depuis qu'elles ont commencé d'agir. On peut arriver, par ce moyen, à déterminer à peu près l'instant où leur action a commencé, lequel est précisément le même que celui où nos continents ont pris leur forme actuelle et où la dernière retraite subite des eaux a eu lieu. Notre illustre naturaliste a pris pour base l'accroissement progressif des atterrissements et des alluvions le long des fleuves, dans un temps donné. Il raconte, à cet égard, les observations qui ont été faites en Égypte, où l'élévation du sol s'opère en même temps que la surface s'étend du côté de la mer; ce qui fait que chaque année l'inondation dépasse de beaucoup les marques qu'elle avait laissées dans les siècles précédents. Il passe en revue la marche des atterrissements lelong des principaux fleuves de l'Europe et des côtes de la mer, qui la ceignent dans quelques parties. En Frise et dans le pays de Groningue, où les premières digues ont été construites en 1570, cent ans après, l'on avait déja gagné en quelques endroits trois quarts de lieue de terrain en dehors de ces digues. On pourrait observer le même phénomène et avec la même précision, ajoute M. Cuvier, tout le long des côtes de l'Ost-Frise, du pays de Brême et du Holstein, parce que l'on connaît les époques où les nouveaux terrains furent enceints pour la première fois, et que l'on y peut mesurer ce que l'on a gagné depuis. Tous ces faits et un grand nombre d'autres encore ont été bien constatés, mais je ne vois pas les conséquences positives que l'on en a tirées pour remon-

ter à l'époque de la dernière révolution du globe. Je n'ai vu nulle part, je le répète, aucun calcul positif à cet égard, mais bien des conjectures. Certes, le moyen que je vais indiquer repose également sur une hypothèse, mais c'est une hypothèse dont tout le monde peut vérifier les bases. Sous ce rapport, je crois qu'il est utile de le faire connaître, parce que de nouvelles observations géologiques pourront mettre à même de rectifier ce qu'il a de défectueux. Dans une question de cette nature, il ne faut pas s'appuyer sur des monuments périssables, que les générations futures ne peuvent consulter, mais bien sur des témoins irréfragables qui restent debout pour éclairer continuellement la science. Maintenant voici les faits. Je prendrai mon exemple dans le Limousin : La cathédrale de Limoges a été construite, il y a environ quatre siècles, avec un granite qui a dû être extrait des carrières les plus rapprochées de la ville. Or, dans l'intérieur de cet édifice, l'altération du granite est peu ou point sensible, surtout dans les parties qui n'ont pas été exposées à l'humidité. Mais il n'en est pas de même au dehors, surtout sur les faces qui sont exposées aux vents de pluie; la désagrégation et la décomposition dans quelques parties sont assez profondes, dans d'autres elles le sont moins. On peut évaluer l'altération, terme moyen, à 3 lignes $\frac{1}{2}$ environ. Or, la portion décomposée de la masse de granite que j'ai observée dans une carrière à peu de distance de la ville, est de 5 pieds environ ou 720 lignes. En supposant que la marche des altérations ait eu lieu, dans la masse de granite, proportionnellement au temps, on trouve que l'altération a dû commencer il y a environ 82,000 ans. On ignore, à la vérité, la marche de la décomposition du granite en masse, car il est probable qu'elle aura été plus rapide dans les premiers temps que postérieurement, puisque les parties supérieures auront préservé celles qui étaient au-dessous. Dans ce cas, la loi serait une progression décroissante, et donnerait encore un nombre plus grand que celui que je viens de présenter.

Je ne prétends nullement donner comme définitif le

nombre 82,000, attendu que la méthode que j'ai employée repose sur des données qui ont encore besoin d'être examinées ; mais je pense qu'en suivant cette direction dans des recherches ultérieures, on pourra arriver à la solution d'une question qui intéresse vivement les géologues. On peut m'objecter qu'il y a des granites dont la désagrégation a pu commencer avant la dernière révolution du globe, et dont les produits se sont mêlés intimement avec les terrains qui leur sont superposés. M. Déribier de Cheissac cite un exemple de ce cas dans son Mémoire sur les argiles figulines de la Haute-Vienne. Cet exemple ne s'applique pas au granite de Limoges, qui est recouvert seulement de terre végétale.

§ IX. *Discussion relative aux hypothèses qui ont été imaginées pour expliquer le magnétisme terrestre ; magnétisme polaire d'une montagne ; électricité de l'atmosphère, dans les pays de montagnes.*

Nous avons déja vu que M. Ampère avait admis l'existence de courants électriques disséminés sur toute la surface du globe, dirigés de l'est à l'ouest, pour expliquer la direction générale de l'aiguille aimantée et les variations diurnes et annuelles qu'elle éprouve en chaque point du globe. Voyons jusqu'à quel point cette supposition est admissible. En partant de l'hypothèse que le globe est formé d'un noyau métallique recouvert d'une couche oxidée, M. Ampère a attribué les courants à l'action chimique de l'eau et de divers agents sur la surface non oxidée de ce noyau. Nous ne voyons pas comment cette cause peut produire des courants dirigés de l'est à l'ouest, car il ne suffit pas, pour qu'il y ait production d'un courant électrique, qu'un corps réagisse chimiquement sur un autre, il faut encore que ces deux corps communiquent ensemble par l'intermédiaire d'un autre conducteur de l'électricité. Sans la présence de ce corps, il n'y a qu'une simple recomposition des deux électricités dégagées sur la surface même du contact. D'un autre côté, quand bien même cette recomposition donnerait lieu à

des courants, leur durée est tellement instantanée, qu'il nous a été impossible de reconnaître jusqu'ici leur action sur l'aiguille aimantée.

Toutes les réactions chimiques qui ont lieu dans la croûte superficielle du globe, entre les substances qui l'a composent et dont la plupart sont de mauvais conducteurs de l'électricité, donnent lieu à des effets électriques semblables aux précédents, c'est-à-dire à des recompositions des deux fluides qui s'opèrent dans toutes sortes de directions. D'après cela, rien ne peut faire supposer jusqu'ici que les réactions chimiques terrestres donnent naissance à des courants électriques cheminant dans une direction déterminée, quand bien même on ferait intervenir le mouvement de rotation de la terre.

On est donc forcé, si l'on veut s'en tenir toujours aux courants électriques, de leur attribuer une autre origine que l'action chimique. La chaleur se présente naturellement, puisqu'une différence de température entre deux substances hétérogènes ou non, en contact, suffit pour dégager de l'électricité, même lorsque ces substances ne forment pas de circuit, puisque nous savons qu'une masse de bismuth, d'antimoine, de zinc, etc., est couverte de courants électriques quand toutes ses parties n'ont pas la même température. Mais aussi, ces masses sont métalliques, et par conséquent, conductrices de l'électricité, tandis que les roches dans lesquelles nous supposons qu'il circule des courants thermo-électriques, sont de très-mauvais conducteurs. Nous sommes donc obligés de rejeter les courants thermo-électriques circulant dans les diverses formations de l'enveloppe superficielle du globe en vertu d'une différence de température produite par la présence du soleil sur l'un des hémisphères. On a supposé aussi que l'accroissement de la température dans l'intérieur du globe était la cause des courants; mais on sait bien qu'au-dessous de la couche invariable, la température n'est plus influencée par la chaleur solaire; dès lors il devient impossible d'expliquer les variations diurnes et annuelles. Il ne reste

donc plus qu'à admettre, ce qui du reste est déja démontré, que toutes les parties matérielles de la terre sont douées de magnétisme, et que celles qui participent aux influences calorifiques de l'atmosphère, éprouvent dans leur magnétisme des variations diurnes et annuelles de la part de la chaleur solaire. Dès lors diverses causes locales et la nature des roches doivent influer sur ces variations. Je crois que c'est là le point de départ pour remonter à la cause du magnétisme terrestre. S'il existe des courants électriques, comme l'identité de l'électricité et du magnétisme semble l'indiquer, ces courants doivent être moléculaires, c'est-à-dire qu'ils doivent circuler autour des molécules, comme M. Ampère l'admet pour les aimants.

La supposition que le globe terrestre doit son magnétisme à une propriété inhérente à toutes ses parties, résulte des faits qui ont été observés sur le magnétisme de tous les corps. Mais, pour donner un degré de plus de probabilité à cette supposition, je vais rapporter les observations que M. de Humboldt a faites (1) sur le magnétisme polaire d'une montagne schisteuse et de serpentine.

Le Heideberg, près de Zell, s'élève au milieu d'un vaste plateau à la pente N. O. du Fichtelgebirge; la montagne est dirigée du S. O. au N. E., comme celle des roches primitives et intermédiaires de ces contrées. Elle appartient au groupe des serpentines enclavées dans les schistes chloriteux et amphiboliques. Dans la chlorite, les parcelles de fer oxidulé sont visibles à l'œil nu, tandis que, dans les autres roches, on découvre le fer en pulvérisant la masse et en la remuant avec un barreau aimanté. Les strates de toutes ces roches sont parallèles à l'axe longitudinal de la montagne, qui agit à vingt pieds de distance sur les boussoles de mineur.

On a cru observer que les roches du Heideberg qui

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxv.

ont le plus de magnétisme polaire, sont aussi celles dont la pesanteur spécifique est la plus grande.

Ce qu'il y a de remarquable dans le magnétisme de cette montagne, c'est la distribution et le parallélisme de ses axes magnétiques. M. de Humboldt a observé que les pôles nord sont tous situés à la pente sud-est et les pôles sud à la pente nord-ouest; de sorte que les pôles homonymes occupent une même pente. Le parallélisme des axes est constant à l'extrémité nord-est et dans son centre, mais il est peu sensible à l'extrémité sud-ouest, où les roches chloriteuses, amphiboliques et talqueuses passent à la vraie serpentine. Les points d'indifférence sont placés aux extrémités nord-ouest et sud-ouest de la montagne, c'est-à-dire aux extrémités de l'axe longitudinal du Heideberg, ou selon la ligne qui détermine la direction des couches. Les axes magnétiques sont perpendiculaires à la direction de celles-ci.

M. Lichtenberg a énoncé les conjectures que ces axes peuvent bien être l'effet de tremblements de terre qui, dans les grandes catastrophes de notre planète, ont agi long-temps dans une même direction. M. de Humboldt a cru voir changer en effet une seule fois, dans l'Amérique méridionale, l'inclinaison magnétique à la suite d'un tremblement de terre. L'intensité des forces était restée la même.

Il serait à desirer que l'on pût savoir si la direction de l'axe magnétique est constante, ou si elle change avec la direction du méridien magnétique de la contrée voisine.

Le magnétisme polaire de ces roches qui renferment quelques parcelles de fer oxidulé, est souvent bien plus puissant que le magnétisme polaire de ces grandes masses de fer oxidulé qui forment des couches dans les montagnes primitives, et qui ne sont point en contact avec l'atmosphère ou rapprochées de la surface du globe.

M. de Humboldt a trouvé près de Voisaco, entre Almaguer et Pasto, à 1045 toises de hauteur au-dessus de la mer, une roche de porphyre trachitique, qui offrait

en petit presque les mêmes phénomènes que la montagne magnétique de Franconie. Sur la pente orientale du Chimborazo, MM. de Humboldt et Bonpland ont trouvé aussi un groupe de porphyre trachitique en colonnes pentagones, dont le magnétisme polaire agit à trois pieds de distance.

Ces exemples prouvent que, dans les observations relatives au magnétisme terrestre, il serait peut-être essentiel d'expérimenter sur le magnétisme des roches qui constituent le pays où l'on est, ou du moins, de déterminer jusqu'à quel point elle diminue l'amplitude des oscillations de l'aiguille aimantée sans changer leur nombre.

Il ne serait pas impossible que des actions de ce genre fussent produites en Auvergne dans le voisinage des formations stéaschisteuses, où l'on dit que la boussole éprouve quelquefois des déviations qui contrarient les opérations géodésiques.

§ X. *De l'électricité atmosphérique sur les montagnes.*

Pour ne rien omettre de ce qui peut avoir rapport aux réactions chimiques qui ont lieu dans l'intérieur du globe et à sa surface, je crois devoir rapporter les observations de De Saussure (1) sur l'électricité de l'atmosphère dans les montagnes, laquelle peut exercer une certaine influence sur ces réactions.

Au passage des Fours, le soleil réchauffait les bassins du Mont-Jovet et du Plan-des-Dames, d'où s'élevaient des vapeurs qui venaient se condenser au-dessus de lui sous la forme de petits nuages blancs. En élevant au-dessus de sa tête un petit électromètre, il obtint des signes d'électricité seulement à l'instant du passage de ces nuages. Il crut s'apercevoir que cette électricité venait des régions supérieures, et que les petits nuages ne faisaient seulement que l'office de conducteurs.

---

(1) Voyage dans les Alpes, t. II, p. 194.

Il eut l'occasion de vérifier cette conjecture sur la cime des Fours, le 7 août 1781. L'électricité qu'il a ainsi recueillie était toujours positive. Il l'a trouvée constamment telle dans les temps sereins, soit dans les plaines, soit dans les montagnes, par tous les vents et dans toutes les saisons, même pendant que la terre était couverte de neige. Il a reconnu que l'électricité varie suivant les localités; qu'elle est en général plus forte dans les lieux les plus élevés et les plus isolés; nulle dans les maisons, sous les arbres, dans les rues, etc.; mais qu'elle est sensible cependant dans les villes, au milieu des grandes places, et principalement sur les ponts, où elle paraît plus forte qu'en rase campagne.

Il rapporte ensuite d'autres observations que j'ai déja fait connaître, et sur lesquelles par conséquent je ne reviendrai pas. Je me bornerai seulement aux faits dont il n'a pas été question précédemment. Il a reconnu qu'en été l'électricité de l'air serein est beaucoup moins forte qu'en hiver. En général, dans la saison des chaleurs, lorsque la terre est sèche en raison de la sécheresse des jours précédents, l'électricité de l'air va en croissant depuis le lever du soleil jusqu'à 3 ou 4 heures de l'après-midi, où elle acquiert un maximum; elle diminue ensuite graduellement jusqu'au moment de la chute de la rosée.

De Saussure a cru reconnaître, dans ces nombreuses observations, que la quantité absolue de fluide électrique est réellement plus grande dans les couches les plus élevées de l'atmosphère.

Il fit sur le Môle une expérience intéressante, qui tend à prouver que l'électricité était inhérente au point de l'espace où il se trouvait. « Les nuages que j'avais traversés, dit-il, et que j'avais laissés sous mes pieds en arrivant à la pointe du Môle, se dissipèrent peu à peu, et à la fin il n'en resta plus du tout; ils ne parurent pas

---

(1) Voyage dans les Alpes, t. II, p. 152.

influer sur l'électricité, car sa force moyenne demeura la même après leur disparition. Son intensité fut constamment assez grande pour que les boules divergeassent de deux lignes lorsque l'instrument était posé à terre immédiatement sur la cime de la montagne. » L'électricité diminuait sur la pente de la montagne, à mesure que De Saussure descendait.

Des expériences faites au pied du Mont-Blanc et sur la cime de cette montagne, il tira la conséquence que la force apparente de l'électricité dépend beaucoup moins de la hauteur absolue du lieu où l'on observe que de la hauteur relative ou de l'isolement de ce lieu.

Sur la cime du Mont-Blanc (1), l'air étant très-sec, les boules de son électromètre ne divergeaient seulement que de trois lignes, par l'influence de l'électricité positive. Il fut étonné de voir que, sur le bord d'un escarpement aussi considérable que l'est le tranchant de la cime, l'électricité ne fût pas plus forte, attendu qu'il avait vu quelquefois les boules s'écarter du double sur le bord d'escarpements moins grands. Pour expliquer une semblable différence, il faut tenir compte et de la pression atmosphérique et de l'état hygrométrique de l'air.

De Saussure (2) a présenté des considérations sur la circulation du fluide électrique qui méritent d'être rapportées, quoique nous ne puissions savoir encore jusqu'à quel point elles sont justes. La quantité prodigieuse de fluide électrique, dit-il, qui descend continuellement du haut de l'atmosphère en s'infiltrant au travers de l'air pour pénétrer dans l'intérieur de la terre, doit nécessairement en ressortir de quelque manière, sans quoi ou l'air s'épuiserait ou la terre serait enfin saturée. La circulation perpétuelle de ce fluide par le ministère des vapeurs est un phénomène frappant; il monte invisible et inactif, caché dans le sein de ces vapeurs; mais, déployant

(1) Voyage dans les Alpes, t. II, p. 197.
(2) *Idem*, t. II, p. 152.

ensuite son énergie, lorsque ces vapeurs ont changé de forme, il redescend actif, animé de sa force pénétrante et expansive; les cimes des arbres, les pointes des feuilles, les barbes des épis vont au-devant de lui, l'attirent et le forcent à passer au travers des végétaux, qu'il anime sans doute et dont il devient peut-être, en se décomposant, la partie la plus savoureuse et la plus active. Car pourquoi les plantes qui croissent sur les rocs nus et escarpés surpassent-elles si fort en saveur et en vertus médicinales celles du même genre qui croissent dans le plat pays, si ce n'est parce que la quantité et l'activité de ce fluide sont beaucoup plus grandes sur ces cimes isolées?

Et les animaux, ne jouissent-ils pas de l'influence immédiate de ce fluide? Depuis que les expériences ont prouvé que l'électricité atmosphérique se fait sentir si près de la surface de la terre, peut-on douter que la douce et continuelle électrisation que subit un homme qui se promène au grand air, n'influe sur ses organes, sur la circulation du sang, sur la sécrétion des humeurs, sur la transpiration insensible, et cette électricité ne serait-elle pas une des raisons pour lesquelles l'exercice au grand air contribue beaucoup plus à la conservation ou au rétablissement de la santé que celui que l'on prend à couvert et dans des endroits fermés?

Il a cherché aussi si l'on ne pourrait point apercevoir des balancements ou des variations sensibles dans la densité du fluide électrique dont la terre est imprégnée.

Il a pensé que, pour arriver à ce résultat, il fallait placer un corps tellement à l'abri des influences de la terre et de l'air, que la densité du fluide électrique y demeurât invariable. Ce corps pourrait alors servir de terme de comparaison et aider à connaître si, dans un intervalle donné, le fluide électrique s'est accumulé ou raréfié dans l'intérieur de la terre. L'expérience qu'il a faite à ce sujet ne l'a conduit à aucun résultat.

—

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES FORCES A L'AIDE DESQUELLES ON PARVIENT A EXPLIQUER LA DÉCOMPOSITION DE QUELQUES ROCHES ET LA FORMATION DE PLUSIEURS COMBINAISONS INSOLUBLES.

Je me suis attaché jusqu'ici à donner un précis historique de toutes les découvertes qui ont été faites, depuis les temps les plus reculés jusqu'à cette époque, sur les propriétés générales du principe électrique, soit qu'on le considère comme force mécanique ou comme force chimique, ainsi que sur les phénomènes relatifs au magnétisme. J'ai cherché en même temps à présenter les phénomènes naturels qui en dépendent plus ou moins, ce qui m'a conduit à exposer l'état de nos connaissances sur l'histoire du globe et les changements qui se sont opérés successivement à sa surface, et dans son intérieur jusqu'à une certaine profondeur. Il me reste maintenant à présenter dans leur ensemble les principes sur lesquels on peut s'appuyer pour expliquer quelques-uns de ces changements et surtout la formation des combinaisons insolubles.

J'ai déja indiqué plusieurs méthodes à l'aide desquelles on parvient à former ces dernières; mais il est nécessaire que j'y revienne, afin d'y ajouter les développements nécessaires pour les coordonner toutes.

C'est à Hall et à M. Berthier que l'on doit les premiers essais qui aient été tentés pour reproduire des substances minérales cristallisées. Le premier a montré qu'en soumettant de la craie et des substances végétales à une haute température, sous une forte pression, on avait pour résultat du carbonate de chaux dans un état

cristallin et de la houille. Le second a obtenu par l'action du feu, et à l'aide d'un refroidissement très-lent, des silicates ayant la structure cristalline et semblables à ceux qu'on trouve dans la nature, tels que des pyroxènes, des péridots, et autres. Mais le nombre de ces produits est nécessairement limité, en raison du mode d'action employé, qui ne peut s'appliquer qu'aux substances fusibles. De plus, dans les fourneaux on trouve, soit sur les parois, soit dans les laitiers, divers produits cristallisés qui ont leurs analogues dans la nature, et qui ont été formés les uns par sublimation, les autres par fusion. Je citerai, entre autres, les cristaux que M. Mitscherlich a rapportés au mica.

La difficulté de recomposer les corps naturels tient au procédé dont on fait usage ordinairement. En effet, comment opère-t-on des combinaisons ? C'est en faisant réagir directement les uns sur les autres des corps dissous dans des liquides, ou en employant l'action du calorique, et quelquefois celle de l'étincelle électrique, mode d'action trop rapide pour un grand nombre de composés. En outre, quand on fait réagir, en chimie, deux corps l'un sur l'autre pour déterminer une combinaison, toutes leurs parties constituantes concourent en même temps à l'effet général, et le chimiste n'a pas toujours la possibilité d'empêcher la réaction de l'une d'elles, ce qui doit restreindre nécessairement le nombre des produits : souvent aussi il ne peut employer les éléments des corps à l'état naissant, circonstances si favorables aux actions chimiques. L'électro-chimie au contraire, telle que je la considère, n'emploie que des corps à l'état naissant et des forces excessivement faibles qui, produisant les molécules pour ainsi dire une à une, les disposent par là à prendre des formes régulières, même quand ils sont insolubles, parce que le nombre des molécules ne peut apporter aucun trouble dans leur arrangement.

Les procédés qui ont été mis en usage par Hall et M. Berthier nous indiquent bien comment les miné-

raux ont été formés dans les premiers temps qui ont suivi la consolidation du globe, parce que le feu a concouru seul à cette action; mais ils ne sont pas de nature à nous initier sur le mode de formation des composés dont l'origine est aqueuse, comme ceux que l'on trouve, par exemple, dans les terrains de sédiment, ou dans certains filons qui n'ont pu être remplis par voie ignée.

A la vérité, on ne peut vérifier directement si les moyens qu'on emploie dans les laboratoires sont véritablement ceux dont la nature a fait usage; mais, si l'on peut arriver à prouver que les causes que l'on met en action se présentent dans la terre avec les mêmes circonstances, rien ne s'oppose alors à ce que l'on admette que les mêmes effets ne s'y produisent également; la conséquence me paraît rigoureuse.

On rapporte souvent à l'électricité les phénomènes naturels dont on ne connaît pas l'origine, comme si cet agent était destiné à produire tous les effets qui dépendent de causes occultes. La plupart du temps, l'on ne cherche pas à démontrer si ce rapprochement est justifié par l'expérience; c'est cependant là le point de départ.

On a vu, dans le cours de cette notice, la marche qu'il fallait suivre pour l'opérer; ainsi je n'y reviendrai pas. Mais je rappellerai seulement comment il faut concevoir l'influence qu'exercent les effets électriques produits dans les actions chimiques sur ces actions elles-mêmes pour augmenter leur énergie.

Toutes les fois qu'un corps réagit sur un autre, celui qui joue le rôle d'acide, comme on sait, prend l'électricité positive, et celui qui se comporte comme alcali, l'électricité négative : la recomposition de ces deux électricités est plus ou moins immédiate sur la surface même de contact, suivant la faculté conductrice des deux corps. Dans ce cas, il y a un simple rétablissement d'équilibre sans production de courant, attendu qu'il n'y a pas de déplacement des deux fluides; ou s'il y a des

courants, ils ont lieu dans toutes sortes de directions, et dès lors leurs actions se contrarient et se détruisent : aussi n'a-t-on pu reconnaître jusqu'ici aucun effet sur l'aiguille aimantée dans l'action de deux corps qui se combinent. Mais il n'en est plus de même quand ils communiquent avec un troisième corps suffisamment bon conducteur pour qu'une portion des deux électricités dégagées éprouve moins de difficulté à le suivre, pour former du fluide neutre, qu'à se combiner immédiatement sur la surface même de contact : alors il y a production d'un courant et d'effets électro-chimiques plus ou moins sensibles, dépendant de la nature des corps; l'un des corps au moins doit être liquide.

Quand l'un d'eux est mauvais conducteur, on a des effets auxquels j'ai donné le nom d'électro-capillo-chimiques, et dans lesquels l'action capillaire paraît suppléer au défaut de conductibilité. Il est donc bien entendu que, dans les actions lentes, trois corps, dont un au moins qui est liquide, sont nécessaires pour la production d'effets électro-chimiques observables. Voici maintenant quelle est la conséquence de ce principe : lorsque deux corps ne réagissent que très-faiblement l'un sur l'autre, la présence du troisième donne écoulement à l'électricité, et il en résulte un petit appareil voltaïque, qui suffit pour augmenter l'énergie de l'action chimique des deux corps. Voilà comment il faut concevoir le rôle que joue l'électricité dans la nature. L'exemple suivant éclaircira ce que je viens de dire.

On sait que l'acide hydro-chlorique n'exerce qu'une action excessivement faible sur l'argent; eh bien! mettez en contact ce métal avec un morceau de charbon, fermez hermétiquement le vase qui renferme l'acide, voici ce qui se passera : le charbon s'emparera des deux électricités qui se sont dégagées dans la faible réaction de l'acide sur le métal; il en résultera un courant, dont l'action augmentera celle de l'acide sur l'argent. On aura alors du chlorure d'argent qui cristallisera en

octaèdres réguliers, et de l'hydrogène carboné dont la tension deviendra suffisante pour briser le vase si ses parois offrent peu de résistance.

Résumons maintenant les principaux phénomènes géologiques observés, et tâchons d'y trouver les conditions qui sont nécessaires pour la manifestation d'effets électro-chimiques; nous pourrons ensuite en faire l'application à des décompositions et à la formation de combinaisons insolubles.

Nous reconnaissons : 1° que la chaleur de la terre va en augmentant de la surface au centre; 2° que la croûte du globe est composée de deux espèces de terrains qui ont une origine différente; terrains de cristallisation ou en masse, qui paraissent en général avoir eu une origine ignée, et terrains en strate ou de sédiment, dont l'origine aqueuse est bien manifeste; 3° que les eaux thermales doivent leur température élevée aux terrains d'où elles viennent; que celles qui se trouvent dans le voisinage des volcans, contiennent principalement du gaz acide carbonique, du gaz hydrogène sulfuré, des carbonate sulfate et muriate de soude; tandis que celles qui en sont éloignées renferment une petite quantité de gaz hydrogène sulfuré, des muriates de chaux et de magnésie, mais point de carbonate de soude; 4° que les eaux minérales froides renferment une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique qui tient en dissolution diverses terres, des oxides métalliques et de la silice; 5° que toutes ces eaux, qui viennent de l'intérieur de la terre, traversent les fissures des roches, réagissent sur leurs éléments et produisent des composés solubles et insolubles. Les composés solubles sont dissous par elles et transportés au dehors, tandis que les composés insolubles restent sur place sous forme de cristaux ou de concrétions.

Les mêmes eaux, quand elles sont chargées de sels, peuvent encore réagir sur les roches supérieures et donner naissance à des composés particuliers, dont nous parlerons dans un instant.

Un autre fait qui est encore bien constaté, c'est que, dans les terrains où se trouvent des pyrites de fer ou de cuivre, les eaux qui suintent dans les roches, se chargent de sulfates de fer et de cuivre; si ces terrains sont alumineux et magnésiens, il se forme en outre des sulfates d'alumine et de magnésie.

Il est encore bien prouvé que certains granites et plusieurs roches anciennes se décomposent sous l'influence de l'air et des agents qu'il renferme.

Voyons maintenant comment on peut concevoir les effets de décomposition. Ces effets peuvent être le résultat de deux modes particuliers d'action. Le premier rentre dans le domaine de l'électro-chimie, le deuxième dans celui de la chimie ordinaire et n'a pas été jusqu'ici le sujet d'aucune investigation.

Si le principe, à l'aide duquel on utilise l'électricité qui se dégage dans les actions chimiques, pour produ re de nouvelles réactions, est simple, il n'en est pas de même de son application, attendu qu'une foule de causes, et en particulier les diverses modifications que les actions chimiques éprouvent, détruisent et même intervertissent les effets électriques produits; de là la nécessité, avant de se livrer à des recherches de ce genre, de se familiariser avec les effets électriques qui ont eu lieu dans toutes les actions chimiques, de quelque nature qu'elles soient.

Voyons maintenant comment on peut expliquer la formation de certains oxides cristallisés, des cristaux de protoxide de cuivre, par exemple, tels que ceux que l'on trouve à Chessy dans les argiles qui accompagnent ordinairement le grès bigarré et dont la formation paraît postérieure à leur dépôt.

Il est bien prouvé que les eaux qui se rendent dans les galeries s'emparent du sulfate de cuivre qui provient de la décomposition des pyrites cuivreuses. Supposons maintenant qu'une semblable dissolution soit séparée d'une veine d'eau qui ne renferme pas de sulfate de cuivre, par un banc d'argile d'une épaisseur plus ou

moins grande. Supposons encore que cette argile renferme des matières conductrices de l'électricité capables ou non d'altération, telles que de petits filets de cuivre métallique, ou bien des pyrites; on ne peut nier que ces circonstances ne puissent se présenter. Eh bien! il n'en faut pas davantage, d'après les principes dont on a essayé de donner une idée précédemment, pag. 333, pour qu'il y ait décomposition du sulfate de cuivre, dépôt de cristaux de protoxide de cuivre, et même de cuivre métallique sur les corps conducteurs qui auront servi à transmettre l'électricité qui provenait de la réaction du sulfate de cuivre sur l'eau, ou bien sur une dissolution à un degré moins grand de saturation. C'est au moyen du même principe que l'on explique la formation des cristaux de protoxide et de deutoxide de cuivre sur les vases en bronze, qui restent enfouis pendant des siècles dans la terre, ainsi que les cristaux de peroxide hydraté ou non hydraté de fer sur des masses de fer soumises à des altérations très-lentes. Les produits résultant de l'altération du plomb sont soumis au même principe.

Cet exemple suffit pour montrer les effets qui peuvent être produits dans les terrains qui sont mouillés par des dissolutions métalliques de diverse nature, dont quelques-unes n'agissent que faiblement l'une sur l'autre. La présence d'un troisième corps suffira toujours pour augmenter l'énergie de la réaction. Je viens de dire que ce corps devait être conducteur, mais nous savons que, dans les tubes capillaires, et par conséquent dans les fissures excessivement étroites, les parois, quoique d'une nature moins conductrice, suffisent pour remplacer la conductibilité. Cette propriété de la capillarité doit jouer un grand rôle dans les phénomènes géologiques de décomposition. Il me suffira de rappeler que, si l'on introduit dans un tube de verre à très-petit diamètre un mélange d'oxide de nickel ou de cobalt avec de l'hydrochlorate de chrôme, il se dépose

sur la paroi du tube une couche successivement mince de nickel ou de cobalt métallique (1).

On sait que les matières organiques exercent une propriété réductive sur les dissolutions métalliques; elles doivent cette faculté, non-seulement à l'hydrogène qu'elles abandonnent, mais encore au rôle électro-chimique que joue le carbone comme conducteur de l'électricité.

Nous allons encore faire l'application des principes électro-chimiques à la formation du phosphate de fer bleu cristallisé. On sait que ce composé se forme naturellement dans les houillères et dans les dépôts de matières terreuses et organiques, ainsi que dans les fentes et cavités des roches où il se trouve des débris de végétaux. On sait aussi que l'on forme par les précipités chimiques deux phosphates, le protophosphate qui bleuit à l'air, d'où il résulte une combinaison de protophosphate et de perphosphate, laquelle devient verdâtre en se desséchant, puis un perphosphate blanc, qui n'éprouve aucun changement à l'air. Jusqu'ici on n'a pu reproduire ce phosphate avec cette belle couleur bleue qui lui est propre dans la nature, et qui ne peut être attribuée qu'à l'arrangement régulier des molécules que l'art n'a pu produire jusqu'ici. Si l'on observe le gisement du fer phosphaté dans les terrains d'alluvion, ou analogues, on trouve que le bois sur lequel il s'est déposé est entièrement carbonisé. Il a donc servi de point de départ pour la formation des cristaux qui en couvrent toute la surface. Une cause quelconque a donc attiré le fer et l'acide phosphorique pour produire le phosphate. Or, cette cause est l'électricité qui se dégage pendant les diverses réactions chimiques qui ont lieu pendant l'oxidation du fer et la décomposition des matières organiques, et qui se recombinent par l'intermédiaire du carbone de ces matières. Il en résulte alors un grand

(1) Page 248 de cette notice.

nombre de petites piles, qui produisent le phosphate de fer. Quelques exemples vont éclaircir ce que je viens de dire.

Lorsque l'on plonge dans une dissolution de phosphate d'ammoniaque une lame de fer soudée à une lame de cuivre, il se forme sur le fer, dans la partie la plus rapprochée des points de contact des deux métaux, des cristaux de protophosphate de fer, qui acquièrent peu à peu la belle couleur bleue du phosphate de fer naturel. On peut, à l'aide d'un appareil dont je ne puis donner la description ici, obtenir cette formation d'une manière plus marquée. Le même appareil fait connaître aussi la théorie du phénomène. Je dirai seulement qu'une condition indispensable est une action électro-chimique très-lente, car, si l'on veut accélérer l'action, on obtient d'autres produits.

Rien n'est plus simple maintenant que d'imiter la production du phosphate de fer qui a lieu dans les terrains d'alluvion. Si l'on prend une pyrite efflorescente entourée d'un tissu végétal, et qu'on la place dans une soucoupe, avec une dissolution de phosphate de soude, il y a formation de sulfate de fer, de perphosphate blanc du même métal, et dans les parties du fil qui adhère à la paroi de la soucoupe, là où la capillarité vient ajouter son action à celle du courant, il se forme de petits tubercules cristallins de phosphate bleu en très-petits cristaux.

L'exemple suivant vient encore à l'appui du mode d'action que je viens d'indiquer. Cet exemple est tiré de quelques observations que j'ai faites à Saint-Yriex, dans des terres qui avaient servi à combler, il y plusieurs siècles, un des fossés de la ville, et dans lesquelles se trouvaient entassés pêle-mêle des ossements d'animaux, des débris de végétaux et des fragments de gneiss. En examinant avec attention les fragments qui étaient décomposés, j'aperçus que les lames de mica qui se trouvaient dans les fissures étaient couvertes de phosphate de fer bleu lamellaire. Ce phosphate a été

évidemment formé par la réaction des dissolutions renfermant des phosphates sur le fer du mica qui a été enlevé à la manière des cémentations.

La capillarité a encore ajouté ici son action à celle des courants électriques résultant de la réaction du phosphate sur le fer.

Le carbonate de chaux, les doubles carbonates de chaux et de magnésie, de chaux et de soude, se forment aisément en présentant à l'acide carbonique des bases à l'état naissant.

Je n'ai pas l'intention de rapporter ici toutes les décompositions et les formations nouvelles qui ont été observées jusqu'ici et dont on peut rendre compte, attendu que je serais forcé d'entrer dans des détails que ne comporte pas une simple notice. J'exposerai seulement les résultats généraux qui ont servi à établir les principes à l'aide desquels on peut rendre compte de quelques-uns des changements qui se sont opérés et s'opèrent encore, de nos jours, dans la terre.

Voyons maintenant quels sont les phénomènes chimiques qu'on peut utiliser pour produire des combinaisons insolubles cristallisées.

Rappelons-nous d'abord qu'en électro-chimie un moyen puissant d'action est de former des doubles combinaisons entre des composés solubles et d'autres qui ne le sont pas, et d'opérer lentement la décomposition. C'est ainsi que, pour obtenir des sulfures ou des iodures métalliques, nous avons d'abord formé des doubles hyposulfites, des doubles iodures, etc.; la décomposition ayant lieu lentement, les éléments des sulfures ou des iodures ont pu se grouper régulièrement. On peut même, dans certaines circonstances, en continuant la décomposition des cristaux de ces doubles combinaisons, en retirer entièrement une des parties constituantes et laisser l'autre sous une forme qui ne lui est pas propre. C'est par ce moyen que l'on arrive à former des pseudomorphoses.

On peut obtenir les mêmes effets sans l'emploi des forces électriques, par la méthode seule des doubles dé-

compositions, et en n'ayant égard qu'à l'action des eaux minérales sur les roches de diverses natures qu'elles rencontrent dans leur trajet.

Je prendrai les cas les plus simples, afin de mieux montrer le parti que l'on peut tirer de ce mode d'expérimentation dans l'explication de quelques phénomènes géologiques. Prenons une dissolution de nitrate ou de sulfate de cuivre, saturée ou non, peu importe, et plaçons dedans un morceau de chaux carbonatée crayeux ou bien un morceau de calcaire grossier. L'excès d'acide réagira peu à peu sur le calcaire, en chassera l'acide carbonique, donnera naissance à du nitrate ou à du sulfate de chaux, et il se déposera sur la surface des cristaux de sous-nitrate ou de sous-sulfate de cuivre insoluble. Cette action continue pendant très-long-temps, quoique la surface soit recouverte de cristaux; il suffit que le liquide puisse s'introduire dans l'intérieur par la capillarité, pour que la réaction s'opère toujours de l'extérieur à l'intérieur. Il faut aussi que les petits interstices permettent à l'acide carbonique, au nitrate et au sulfate de chaux, de sortir; il y a donc un double courant qui a de l'analogie avec l'endosmore et l'exosmore. J'ai obtenu par ce moyen des morceaux de craie qui étaient décomposés jusqu'à une profondeur d'un millimètre, en un mois de temps. En employant l'action de la chaleur, on accélère considérablement les réactions dont je viens de parler, seulement les cristaux sont moins caractérisés et plus confus. Quand on opère avec le sulfate de cuivre, les cristaux de sous-sulfate sont recouverts de sulfate de chaux.

En substituant au nitrate et au sulfate de cuivre, le chlorure, on a un sous-chlorure analogue à celui que l'on trouve dans les mines du Pérou.

Nous pouvons conclure de là, que si les eaux chargées de sulfate de cuivre qui suintent dans les terrains où il existe des pyrites cuivreuses en décomposition, rencontrent du calcaire, il doit se produire des compo-

sés semblables aux précédents. Le sous-nitrate de cuivre n'a pas encore été trouvé jusqu'ici dans la nature, tandis que le sous-sulfate et le sous-chlorure s'y rencontrent quelquefois.

Ces trois substances peuvent éprouver d'autres transformations par l'action des eaux minérales; mais, pour les faire connaître, il est nécessaire que j'expose préalablement un principe particulier qui n'a pas encore été décrit.

Les eaux minérales, particulièrement celles qui existent dans les terrains volcaniques anciens ou modernes, contiennent, comme on sait, plusieurs sels, entre autres du carbonate et du bi-carbonate de soude. Prenons le bi-carbonate et mettons dans la dissolution de ce sel étendue d'une fois son volume d'eau, le morceau de calcaire recouvert de petits cristaux de sous-nitrate de cuivre, et laissons réagir lentement les uns sur les autres les divers éléments qui se trouvent en présence. Du gaz acide carbonique se dégagera peu à peu, et il se formera en même temps un double carbonate de soude et de cuivre en petits cristaux, et du carbonate de chaux également en très-petits cristaux rhomboèdres, dus à la réaction sur le carbonate alcalin, du nitrate de chaux formé aux dépens de l'acide nitrique du sous-nitrate et de la chaux qui se trouvait en contact avec ce sel.

Maintenant, pour transformer ce double carbonate en carbonate hydraté vert de cuivre, autrement dit malachite, il faut faire réagir lentement dessus une dissolution de sulfate de cuivre; il se forme alors un double sulfate de cuivre et de soude qui reste dissous, un sous-sulfate de cuivre insoluble et un carbonate de cuivre qui cristallise en aiguilles, ou en petites houppes soyeuses.

Ce principe des transformations successives, dont la chimie ne s'est pas encore occupée, est d'une grande importance dans les actions spontanées ainsi que dans les réactions minérales; car on conçoit très-bien que des actions semblables peuvent et, je dis plus, doivent se produire dans la terre.

L'art consiste donc, quand on veut obtenir un composé cristallisé insoluble, à le faire entrer en combinaison avec un autre composé soluble et à enlever lentement celui-ci avec une dissolution qui réagit faiblement dessus. Quelques exemples éclairciront ceci.

Veut-on avoir le chromate de plomb cristallisé, tel que celui que l'on trouve à Bérézoff en Sibérie, on commence par préparer le sous-nitrate de plomb, en faisant réagir de la craie sur une dissolution de nitrate de plomb; puis on traitera ce sous-nitrate par une dissolution de chromate de potasse. Un mois ou deux après, on commence à apercevoir des cristaux de chromate de plomb sur la surface de la craie.

En faisant réagir le sous-nitrate de cuivre sur une dissolution d'arséniate de cuivre, il se forme un double arséniate de cuivre et d'ammoniaque et un double arséniate de chaux et d'ammoniaque. On opère leur décomposition au moyen d'une dissolution de sulfate de cuivre. On a le même résultat avec le phosphate d'ammoniaque; seulement on obtient immédiatement le phosphate de chaux, parce qu'il ne forme pas une combinaison double avec celui d'ammoniaque.

La réaction du bi-carbonate de soude sur le gypse donne naissance à du carbonate de chaux qui cristallise, et à du sulfate de soude qui reste en dissolution. Le sulfate de chaux étant très-peu soluble, à l'instant où il se dissout, réagit sur le bi-carbonate de soude, et il en résulte du carbonate de chaux et du sulfate de soude.

Supposons maintenant que des eaux renfermant du carbonate de soude s'infiltrent à travers des masses gypseuses, elles les décomposeront peu à peu et les changeront en calcaire plus ou moins cristallin, suivant le degré de concentration de la dissolution et la vitesse de l'infiltration.

Tels sont les principes que j'ai employés jusqu'ici pour reproduire quelques composés analogues à ceux que l'on trouve dans la terre, et expliquer diverses décompositions.

CHAPITRE SUPPLÉMENTAIRE.

TRAVAUX ÉLECTRO-CHIMIQUES DE M. FARADAY.

En commençant la rédaction de cette notice, j'avais l'intention de m'arrêter en 1833; mais ayant exposé ensuite des faits découverts en 1834, je me trouve forcé maintenant de parler des travaux qui ont été publiés depuis. Le peu d'espace qui reste pour terminer ce volume, ne me permet seulement que de donner le précis des travaux électro-chimiques de M. Faraday. C'est donc avec un vif regret que je me vois forcé de ne pouvoir rendre compte, pour l'instant, de quelques recherches importantes, entre autres de deux Mémoires de M. Barlow sur l'origine électrique probable de tous les phénomènes du magnétisme terrestre et sur la situation présente des lignes magnétiques d'égale variation (déclinaison) et de leurs changements à la surface du globe (1).

M. Faraday, considérant que l'identité entre les électricités émanant de diverses sources n'a pas été établie suffisamment, a traité de nouveau cette question, dans un Mémoire qu'il a présenté à la Société royale de Londres, les 10 et 17 janvier 1833 (2).

Il examine successivement les effets de chacune des deux électricités voltaïque ou ordinaire sous le rapport des phénomènes de tension et des phénomènes calorifiques, magnétiques, chimiques et physiologiques.

L'électricité voltaïque donne des effets de tension à chaque pôle, semblables à ceux qu'on obtient avec l'électricité de frottement. Celle-ci, en raison de sa haute tension, est transmise facilement à travers un air très-

(1) Philos. Trans., 1831, p. 99; 1833. 2e partie.
(2) *Idem*, 1re partie.

raréfié ou un air chaud. M. Faraday a prouvé, au moyen d'un appareil ingénieux, que de semblables effets sont produits dans les décharges de l'électricité voltaïque, et qu'un courant qui passe dans un air très-chaud donne naissance à des décompositions chimiques et fait dévier l'aiguille aimantée dans le multiplicateur.

Davy était parvenu à faire passer un courant excessivement énergique dans le vide entre deux pointes de charbon qui, d'abord en contact, avaient été successivement éloignées jusqu'à une distance de quatre pouces (1); mais dans l'expérience précédente, le courant passe immédiatement, quoique avec une énergie infiniment moindre dans un air chaud, sans que l'on soit obligé de mettre d'abord les pointes en contact.

M. Faraday entend par courant quelque chose qui marche progressivement, soit que ce soit un fluide électrique ou deux fluides se mouvant dans des directions opposées, ou simplement des vibrations.

Il attribue pour caractère distinctif à l'électricité ordinaire une grande intensité pour une petite quantité et des pouvoirs attractifs et répulsifs à des distances sensibles, dont jouit également l'électricité de tension recueillie aux deux pôles d'une pile.

Les phénomènes de chaleur produits dans des fils de métal par l'électricité commune et l'électricité voltaïque sont les mêmes. L'électricité voltaïque donne naissance à des effets électro-magnétiques qui sont beaucoup plus exaltés que ceux que l'on obtient avec l'électricité ordinaire.

Quelques physiciens pensaient que les expériences de M. Colladon n'avaient pas résolu la question de l'identité entre les effets magnétiques produits par les deux espèces d'électricité.

M. Faraday ayant repris ces expériences, avec des appareils qui lui sont propres, a confirmé pleinement les observations de M. Colladon. Il a trouvé qu'un courant d'électricité commune, qui est transmis à travers l'eau,

---

(1) Elements of chimical philosophy, p. 153.

l'air raréfié, ou au moyen de pointes dans l'air ordinaire, est toujours capable de faire dévier l'aiguille; la seule précaution à prendre est de laisser à l'action le temps de se produire. Il donne encore ce fait comme une preuve de l'identité entre les deux électricités.

Il passe ensuite aux décompositions chimiques qui caractérisent éminemment l'action de l'électricité voltaïque (1).

Wollaston avait montré que l'électricité commune produit également des décompositions chimiques.

M. Faraday a voulu ajouter de nouvelles preuves à l'appui du rapprochement qui avait été opéré par son illustre compatriote. Il a décrit un appareil plus convenable et plus efficace que celui qu'il avait donné pour opérer la décomposition chimique à l'aide de l'électricité commune.

Dans toutes les expériences, il a eu soin d'éviter la formation de l'acide nitrique résultant de la combinaison de l'oxigène dégagé et de l'azote de l'air, et en a déduit un moyen très-simple et très-prompt de constater la formation de l'acide nitrique dans les réactions chimiques qui ont lieu au contact de l'air.

Lorsque Wollaston décomposa l'eau avec l'électricité ordinaire, au moyen de deux pointes de platine très-fines, il avança que l'oxigène et l'hydrogène étaient dégagés à chaque pôle, et ajouta à ce sujet, en comparant ce mode de décomposition à celui de la pile, que la ressemblance n'était pas complète. M. Faraday rapporte que cette expérience avait déja été faite anciennement par MM. Paets, Van Trootswyk et Deiman, en 1789, et de Pearson en 1797 (2); « qu'elle prouve, ajoute-t-il, « la décomposition électro-chimique, c'est ce qui est « évident. L'eau est décomposée aux deux pôles indé- « pendamment l'un de l'autre; l'oxigène et l'hydrogène

(1) Philosop. Trans., 1801, p. 427, 434.
(2) Nicholson's journal, in-4°, vol. 1, p. 241, 299, 349.

« dirigés vers les fils de métal sont les éléments de l'eau « qui existait auparavant dans ces places. Que les pôles « ou plutôt les pointes n'aient pas de dépendance mu- « tuelle décomposante, c'est ce qu'on peut montrer en « substituant un fil ou le doigt à l'un d'eux, changement « qui n'intervertit pas l'action de l'autre pôle, quoiqu'il « arrête celle du pôle changé. »

Il avance que, lorsque la décomposition électro-chimique se montre, on a de fortes raisons pour croire que la quantité de matière décomposée n'est pas proportionnée à l'intensité, mais bien à la quantité d'électricité qu'on fait passer. Il ne nie pas qu'avec un appareil convenable on ne puisse décomposer l'eau avec l'électricité commune d'une manière analogue à la pile de Volta. Il trouve aussi une identité dans les effets physiologiques. Quant à l'étincelle de l'électricité commune, elle ressemble à celle de la batterie voltaïque, particulièrement dans certaines circonstances. Lorsque la première électricité étant retardée par son passage dans l'eau, est déchargée entre des pointes de charbon, elle devient excessivement lumineuse et brillante sur les deux surfaces de charbon, comme celle qui provient de la décharge voltaïque.

Il rappelle que l'électricité atmosphérique est de même nature que l'électricité ordinaire, relativement à tous les effets qu'elle produit, ainsi que celle qui est dégagée par induction.

Les courants thermo-électriques ont été aussi l'objet de ses investigations. Il a avancé que les attractions et répulsions dues à un certain degré de tension n'ont pas encore été observées ; que l'on n'est pas parvenu non plus à élever la température des fils de métal en y faisant passer un courant thermo-électrique, et que les décompositions chimiques n'ont pas été effectuées par leur action. J'ai démontré, il y a plusieurs années, que rien n'était plus facile que d'obtenir ces derniers effets avec les courants thermo-électriques, qui produisent également des contractions. Quant à l'électricité animale, il dit qu'il ne lui reste aucun doute sur l'identité de

l'électricité de la torpille avec les électricités commune et voltaïque. Il rapporte les observations qui ont été faites à cet égard. Tous les phénomènes observés avec les diverses espèces d'électricité ne diffèrent donc pas dans leur caractère, mais seulement dans leur degré, et doivent varier en raison des circonstances qui font changer la quantité et l'intensité.

Dans un second Mémoire (1), M. Faraday s'est occupé d'une nouvelle loi de conductibilité électrique et du pouvoir conducteur en général.

On savait depuis long-temps que l'eau pure était un assez mauvais conducteur de l'électricité et que la glace ne transmettait pas du tout le courant voltaïque. Davy, en 1821 (2), avait annoncé que le nitre desséché, la potasse caustique et la soude sont conducteurs de l'électricité voltaïque, quand on les liquéfie à une température élevée; on s'en était tenu à ces résultats sans chercher à les étendre et surtout à en tirer des conséquences générales sur la conductibilité électrique.

M. Faraday a d'abord constaté, avec le galvanomètre, que l'interposition d'une plaque légère de glace dans un liquide traversé par un courant, intercepte ce courant, quelle que soit la force de la pile. Cette propriété isolante de la glace n'existe pas pour l'électricité des machines qui a une tension suffisante pour vaincre la résistance qu'elle lui oppose. Ainsi donc l'eau pure qui jouit médiocrement du pouvoir conducteur à l'état liquide le perd tout-à-fait à l'état solide ; cette loi est générale. Il existe un grand nombre de corps, et en particulier le chlorure de plomb, qui, étant fondus, donnent passage à l'électricité et sont rapidement décomposés, tandis que les effets cessent à l'instant de la solidification. Les carbonates alcalins, le sel marin, la litarge, les iodures de potassium, etc., ainsi que les substances qui

---

(1) Philosophical Transact., 1833, 2e partie.
(2) Elements of Chemical Philosophy, p. 169.

exigent pour se fondre une haute température, donnent les mêmes résultats.

Il a trouvé cependant un certain nombre de corps qui n'acquièrent pas le pouvoir conducteur à l'état liquide, entre autres le soufre, le phosphore, l'iode, l'orpiment, le perchlorure d'étain, le chlorure d'arsenic, l'acide borique, etc. Parmi les substances auxquelles la liquidité confère le pouvoir électrique, il a trouvé que l'eau est le corps où ce pouvoir acquis est le plus faible. Les oxides, les chlorures, les sels, le possèdent au plus haut degré; l'accroissement du pouvoir conducteur que l'eau reçoit, par l'addition de sels, paraît dépendre du pouvoir conducteur de ces corps à l'état liquide. En général, quand le pouvoir conducteur se montre, la décomposition commence aussitôt. Il serait important, suivant M. Faraday, de savoir si la conductibilité elle-même ne serait pas une conséquence, non de la capacité de décomposition seulement, mais de l'acte même de la décomposition.

Cependant cette loi a des exceptions, puisque le periodure de mercure est conducteur, quand il est fondu, et cependant n'est pas décomposé.

Le rapport du pouvoir conducteur pour l'électricité, à celui pour la chaleur, semble indiquer une dépendance naturelle des deux, comme le prouvent des expériences déja anciennes et qui ont été rapportées dans ce Précis; mais M. Faraday a fait connaître une nouvelle dépendance de ces deux pouvoirs, en montrant qu'en général lorsqu'un solide, qui n'est pas un métal, devient fluide, il perd presque entièrement le pouvoir conducteur de la chaleur, tandis qu'il acquiert à un haut degré celui de conduire l'électricité. En soumettant à l'expérience des chlorures de sodium, de magnésium et du borax avec une pile de dix paires de disques, il a obtenu le sodium, le magnésium, le bore, etc.

Il a déterminé le pouvoir conducteur de la glace et des sels solides pour l'électricité à haute tension.

On savait que la chaleur augmente le pouvoir conducteur, dans plusieurs substances, pour l'électricité de

haute tension. M. Faraday a trouvé un cas de ce genre, pour l'électricité de petite tension, dans le sulfure d'argent. Il passe en revue les substances naturelles ou artificielles qui conduisent plus ou moins le courant voltaïque, quand elles sont chaudes ou froides.

Malgré l'extrême dissemblance entre le sulfure d'argent et les gaz en vapeurs, M. Faraday soupçonne que l'action de la chaleur sur eux est la même, car on sait que le pouvoir conducteur des gaz augmente avec la température pour les deux électricités de la machine et de la pile, et il est probable qu'en les pressant, ou les condensant, on augmenterait encore leur pouvoir conducteur.

M. Faraday, dans un dernier Mémoire (1), s'est occupé des décompositions électro-chimiques en général et a essayé d'en donner la théorie.

Il fait observer que la différence qui existe entre l'électricité produite par les machines et celle qui est dégagée dans les piles voltaïques, vient de ce que la première a une forte tension pour une petite quantité, tandis que c'est l'inverse pour l'autre. En raison de l'identité entre ces deux électricités, il a cherché dans les décompositions chimiques, opérées avec l'électricité dégagée des machines, de nouvelles conditions de cette action propres à donner l'explication des décompositions électro-chimiques.

L'électricité des machines, en raison de sa haute tension, passe à travers l'eau et diverses solutions aussi vite qu'elle se produit et quelle que soit la longueur de son trajet. Il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque, qui s'affaiblit avec la distance.

Il a essayé d'appliquer cette facilité de transmission de la première à la recherche du transport des éléments d'un corps vers les pôles. Il a d'abord reconnu que la distance entre les pôles n'apporte aucun affaiblissement

(1) Philosoph. Transact., 1833, 2e partie.

dans l'effet décomposant. Ayant disposé un appareil particulier pour opérer la décomposition d'un sel, il enleva ensuite le conducteur négatif, ainsi que le papier de curcuma destiné à constater la présence de l'alcali, et toucha le papier de tournesol avec un cordon humide qu'il tenait à la main; quelques tours de la machine suffirent pour rougir le papier. L'effet fut encore le même lorsque le bout du fil humecté fut suspendu en l'air, avec un tube de verre. L'autre pôle donna le même résultat. Il varia ces expériences, et conclut de ces résultats que la décomposition électro-chimique ne dépend pas de l'action simultanée des deux pôles. Il ajoute cependant *que l'air avait agi comme un pôle.* Il obtint également la décomposition en supprimant toute communication métallique avec le corps soumis à l'expérience et en ne prenant pour pôles que l'air. Les papiers à réactifs employés constituaient donc les conducteurs, car à l'un des bouts se trouvait la réaction acide et à l'autre la réaction alcaline. La pile ne donne rien de semblable. Ces résultats annoncent, suivant M. Faraday, l'action interne des parties soumises à la décomposition et paraissent montrer que le pouvoir qui a le plus d'effet pour séparer les éléments se découvre, non aux pôles, mais aux limites de la surface électrisée.

Il traite ensuite de l'influence de l'eau dans la décomposition électro-chimique. Plusieurs physiciens avaient avancé que sa présence était indispensable. Il rapporte à ce sujet l'opinion de Davy et s'appuie sur les expériences que j'ai rapportées précédemment, et au moyen desquelles il a prouvé qu'il existe un certain nombre de corps qui se comportent comme l'eau.

M. Faraday rappelle toutes les tentatives qui ont été faites pour expliquer les effets de décomposition. Il cite particulièrement Davy qui attribuait les effets aux attractions des pôles, Grotthus qui supposait que les actions attractives et répulsives peuvent être communiquées de la surface métallique sur toute l'étendue du

menstrue et diminuant d'intensité depuis les pôles jusqu'au point milieu qui est neutre. Il combat successivement toutes les théories, et avance que les décompositions électro-chimiques ne dépendent d'aucune attraction ou répulsion directe des pôles, considère les portions environnantes de l'air, dans les phénomènes de décompositions opérées avec l'électricité, comme des surfaces jouissant des mêmes propriétés qu'on avait attribuées aux métaux. Cet habile phisicien est parvenu à construire un appareil à l'aide duquel il a décomposé des sels avec la pile sur une surface d'eau aussi bien que dans l'air ou sur un métal; résultat semblable à celui qu'il avait obtenu avec l'électricité ordinaire. Il dit que la théorie de M. Delarive ne peut rendre compte des effets de décomposition à la surface de l'air et de l'eau.

Après avoir discuté l'imperfection de toutes les théories connues, il en propose une qui lui semble s'accorder mieux avec le grand nombre de faits observés, et d'après laquelle les effets de la décomposition électro-chimique proviennent de forces internes et sont relatifs à la matière en décomposition, et non de forces externes comme on pourrait le croire s'ils dépendaient directement des pôles. Il suppose que ces effets sont dus, à une modification de l'affinité chimique des particules au travers desquelles passe ce courant, laquelle modification leur donne le pouvoir d'agir plus efficacement dans une direction que dans l'autre, en les faisant passer par une suite de décompositions et de recompositions successives dans des directions opposées, et enfin les chassant aux limites du corps décomposé dans la direction du courant; aussi croit-il qu'il serait plus philosophique de dire qu'un corps décomposé est plutôt en rapport avec le courant qu'avec les pôles. Cette théorie exige comme il le dit lui-même, que les particules élémentaires des corps décomposants aient une relation mutuelle et une influence l'une sur l'autre, qui s'étendent au-delà de

celles avec lesquelles elles sont combinées. Ce rapport général des particules déja en combinaison, avec les autres particules auxquelles elles ne sont pas combinées, est très-distinct dans un grand nombre de cas chimiques que M. Faraday énumère.

Il a déduit aussi de quelques expériences que le transport dépend particulièrement de l'action mutuelle des corps décomposés.

Il regarde comme une conséquence de ses expériences, que plus les corps sont directement opposés l'un à l'autre dans l'affinité chimique, plus ils sont disposés à se séparer l'un de l'autre dans les cas de décomposition chimique.

Les pôles, suivant lui, sont simplement des surfaces ou des ouvertures par lesquelles l'électricité entre ou passe dans la substance qu'on décompose. Ils limitent l'étendue de cette substance dans la route du courant électrique. Les métaux sont des pôles parfaits en raison de leur grand pouvoir conducteur et de la propriété de ne point se mélanger avec les substances qui agissent sur eux.

Il m'est impossible de donner dans cette notice plus de développements sur la théorie électro-chimique de M. Faraday; mais je crois que le peu que j'en ai rapporté suffira pour en donner une idée au lecteur.

Je crois avoir exposé dans ce précis la plupart des faits les plus importants, relatifs à l'électricité, au magnétisme, et aux phénomènes naturels qui ont des rapports plus ou moins directs avec ces deux agents.

Je me suis appliqué aussi à démontrer la nécessité de faire marcher de front l'étude des sciences naturelles physiques et chimiques, pour leur avancement réciproque. Si les corps organiques sont régis par des lois qui leur sont propres, ces lois ne sont pas néanmoins tout-à-fait indépendantes de celles qui concernent la nature inorganique, puisque les premiers se composent d'éléments qui tendent sans cesse à for-

mer des composés inorganiques. Cette lutte continuelle des forces vitales avec celles qui ne le sont pas, est bien digne d'attirer l'attention du philosophe. C'est en modifiant plus ou moins tout ce qui est relatif à ces deux genres de forces, que l'on finira peut-être par découvrir les rapports qui existent entre un corps organisé et celui qui ne l'est pas. J'ignore si l'on dévoilera un jour quelques-uns des mystérieux phénomènes qui président à la vie, mais je pense qu'un des moyens d'y parvenir, est de suivre la marche que j'ai indiquée dans cet ouvrage. Peut-être me fais-je illusion à cet égard, mais si cette marche ne conduit pas au but désiré, elle servira toujours à coordonner les faits et à ouvrir une nouvelle direction aux sciences physico-chimiques.

Maintenant, je vais entrer en matière et exposer avec des développements convenables les faits que je n'ai fait qu'indiquer dans cette notice.

FIN DU PREMIER VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

Pages.

INTRODUCTION 1
Indication des Mémoires relatifs à l'électricité et au magnétisme, qui se trouvent dans divers Recueils scientifiques.. 6
Mémoires de l'ancienne Académie des Sciences de Paris....
Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France. *Ib.*
Annales de Chimie.. 7
Annales de Chimie et de Physique......................... 9
Journal de Physique...................................... 19
Bibliothèque universelle................................. 22
Transactions philosophiques.............................. 25
Nicholson's Journal...................................... 29
Philosophical Magazine................................... 31

PRÉCIS HISTORIQUE

SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME.

1re PÉRIODE, depuis 600 ans avant l'ère chrétienne jusqu'en 1790.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ I. Propriétés générales de l'électricité................ 33
§ II. De l'électricité atmosphérique...................... 39
§ III. Travaux de Wilke et d'Æpinus; effets électriques produits par la chaleur et par influence; électromètre.. 52
§ IV. Distribution de l'électricité sur la surface des corps; phénomènes atmosphériques rapportés à l'électricité.... 57
§ V. Application de l'électricité à la végétation, à la physiologie animale, à la médecine et à la phosphorescence... 61

CHAPITRE SECOND.

DU MAGNÉTISME.

Pages.

§ I. Propriétés générales des aimants et des aiguilles aimantées ... 67
§ II. Mesure des forces magnétiques; des divers procédés d'aimantation ... 73
§ III. Des théories imaginées pour expliquer les phénomènes magnétiques ... 76
§ IV. Variation de la déclinaison ... 78

2e PÉRIODE, depuis 1790 jusqu'en 1820.

CHAPITRE PREMIER.

DU GALVANISME ET DE LA PILE DE VOLTA.

§ I. Découverte de Galvani ... 81
§ II. Théorie des phénomènes galvaniques. Premiers travaux de Volta ... 84
§ III. Rapport de la commission de l'Institut de France; travaux physiologiques de M. de Humboldt ... 92
§ IV. De la pile de Volta et des premières observations relatives à ses actions chimiques ... 97
§ V. Théorie du contact; des diverses piles ... 104
§ VI. Recherches relatives aux causes qui influent sur la charge de la pile ... 115
§ VII. Des piles secondaires et des propriétés électriques qu'acquièrent les fils métalliques qui ont servi à opérer à des décompositions chimiques ... 121
§ VIII. Suite des phénomènes de chaleur et de décomposition produits par la pile ... 124
§ IX. Action chimique de la pile sur les substances organiques ... 129
§ X. Phénomènes physiologiques de la pile et des faits qui en dépendent ... 130
§ XI. Application du galvanisme à la médecine ... 137
§ XII. Théorie des décompositions chimiques par Grotthus. 141
§ XIII. Découvertes électro-chimiques de Davy, depuis 1806 ... 143
§ XIV. Suite des travaux de Davy; décomposition des alcalis et des terres ... 155
§ XV. Des piles sèches ... 165
§ XVI. Propriétés particulières à chaque fluide; le doubleur d'électricité ... 166
§ XVII. Des théories électro-chimiques ... 168
§ XVIII. De la lumière électrique et des phénomènes lumi-

Pages.
neux et calorifiques, produits par de fortes piles; du pouvoir conducteur des métaux........................ 177
§ XIX. Des poissons électriques........................ 181
§ XX. Théorie mathématique de l'électricité statique..... 187

CHAPITRE SECOND.

RECHERCHES SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE.

§ I. De l'équateur magnétique et des courbes sans déclinaison.. 191
§ II. De l'intensité des forces magnétiques du globe....... 198
§ III. Des variations diurnes de l'aiguille aimantée....... 200

3e PÉRIODE, depuis 1820 jusqu'en 1834.

CHAPITRE PREMIER.

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES, ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. Découverte de l'électro-magnétisme. Action des courants les uns sur les autres........................ 208
§ II. Rotation des courants autour des aimants. Multiplicateur électrique; suite des travaux de M. Ampère....... 214
§ II. Des multiplicateurs et des effets électriques produits dans les actions chimiques........................ 224
§ IV. Découverte des phénomènes thermo-électriques; effets électriques de pression et de frottement.......... 234
§ V. Discussion relative à la théorie du contact.......... 252
§ VI. Procédé pour garantir le cuivre de l'action corrosive de l'eau de mer; opinion de M. Dumas sur la théorie électro-chimique; théorie de Grotthus combattue par M. Delarive.. 258
§ VII. Des phénomènes que présente l'électricité dans son passage à travers les corps........................ 264
§ VIII. De l'action des aimants et des courants sur tous les corps.. 271
§ IX. Des mouvements giratoires du mercure, et en général des mouvements excités dans les corps par l'électricité... 278
§ X. Des apparences électro-chimiques. Nouvelles recherches sur le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.. 286
§ XI. Théories des phénomènes de contact, de frottement et des phénomènes thermo-électriques........................ 290
§ XII. De l'électricité atmosphérique........................ 300
§ XIII. Des effets physiologiques, de la pile et de son application à la médecine........................ 319

Pages.
§ XIV. Des combinaisons et des décompositions opérées à l'aide de courants électriques plus ou moins faibles... 330
§ XV. De l'emploi des courants pour constater la présence de certains corps dans les dissolutions, et de quelques effets de décompositions électro-chimiques............ 354

CHAPITRE SECOND.

DES PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES.

§ I. Théorie du magnétisme en mouvement............. 358
§ II. Recherches relatives à l'intensité du magnétisme libre en chaque point d'une aiguille aimantée à saturation par la méthode de la double touche..................... 364
§ III. De la détermination de l'intensité absolue du magnétisme terrestre............................ 366
§ IV. De l'influence de la chaleur sur le magnétisme du fer et de l'acier.............................. 368
§ V. Influence du magnétisme sur les actions chimiques... 380
§ VI. Recherches relatives au magnétisme terrestre...... 388

EXPOSÉ DES PHÉNOMÈNES

QUI ONT DES RAPPORTS PLUS OU MOINS DIRECTS AVEC L'ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA PHOSPHORESCENCE.............................. 408

CHAPITRE SECOND.

PRÉCIS DE NOS CONNAISSANCES SUR L'ÉTAT DU GLOBE...... 426
§ I. État du globe dans les premiers temps de sa formation, et des diverses révolutions qui ont changé successivement sa surface.................................... 427
§ II. Des phénomènes volcaniques...................... 439

CHAPITRE TROISIÈME.

DE LA CHALEUR TERRESTRE...... 448

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES DIVERSES FORMATIONS DONT SE COMPOSE LA CROUTE DU GLOBE....................................... 459
§ I. Terrains d'alluvion ou d'atterrissement............ 461
§ II. Des eaux minérales et des corps combustibles...... 462
§ III. Terrains tertiaires............................ 469

Pages.
§ IV. Terrains secondaires........................ 473
§ V. Terrains de transition ou intermédiaires........... 474
§ VI. Terrains primitifs.......................... 477
§ VII. Des terrains volcaniques anciens et modernes...... 482

CHAPITRE CINQUIÈME.

DES FILONS.................................... 485

CHAPITRE SIXIÈME.

DE L'ALTÉRATION DES ROCHES ET DES FORMATIONS MODERNES.

§ I. Opinion de Werner sur l'altération des roches....... 492
§ II. Modifications que les filons de Pont-Gibaud ont éprouvées; divers exemples de décompositions............... 493
§ III. Décomposition des granites...................... 499
§ IV. Décomposition du fer spathique.................. 505
§ V. Des altérations des laves et des produits qui s'y trouvent.................................... 509
§ VI. Décomposition des matières organiques........... 512
§ VII. Des substances qui absorbent de l'ammoniaque; de la nitrification et de certaines propriétés chimiques des corps poreux............................... 514
§ VIII. A-t-on l'espoir de trouver des moyens d'évaluer par approximation l'époque de la dernière révolution du globe?.................................. 524
§ IX. Discussion relative aux hypothèses qui ont été imaginées pour expliquer le magnétisme terrestre; magnétisme polaire d'une montagne; électricité de l'atmosphère dans les pays de montagnes..................... 527

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES FORCES A L'AIDE DESQUELLES ON PARVIENT A EXPLIQUER LA DÉCOMPOSITION DE QUELQUES ROCHES ET LA FORMATION DE PLUSIEURS COMBINAISONS INSOLUBLES.............. 535

CHAPITRE SUPPLÉMENTAIRE.

TRAVAUX ÉLECTRO-CHIMIQUES DE M. FARADAY............. 548

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

Pages.	Lignes.	
16,	6,	du contact, *lisez :* du frottement.
81,	1,	vers 1802, *lisez :* 1782.
103,	32,	Vassali-Eaudi, *lisez :* Vassali-Eandi.
108,	21,	témoin oculaire, *lisez :* témoin auriculaire.
134,	4,	Vassali-Eaudi, *lisez :* Vassali-Eandi.
208,	2,	jusqu'en 1833, *lisez :* jusqu'en 1834.

ADDITION A L'ERRATA

DU

PREMIER VOLUME.

Pages.	Lignes.	
57	16	le toucher, *lisez :* le touchant.
58	28	possible, *lisez :* capable.
80	6	sans déclinaison, *lisez :* sans inclinaison.
89	33	il avoua, *lisez :* il avança.
176	35	de l'atmosphère, *lisez :* de l'espace.
180	18	deux points, *lisez :* deux pointes.
181	22	platine.... 200, *lisez :* platine.... 100.
182	20	les effets, *lisez :* les essais.
188	30	tout fluide, *lisez :* tout le fluide.
195	30	s'y tenir, *lisez :* se tenir.
199	12	des observations, *lisez :* des forces.
213	14	*à la suite* (de l'angle avec le fil), *ajoutez :* M. Savary, en appliquant aux expériences de MM. Biot et Savart les formules données par M. Ampère pour des courants électriques, et, en partant de la loi découverte par ces deux physiciens touchant l'action d'un élément du courant, est arrivé à ce résultat, que l'action totale du fil est réciproquement proportionnelle à la simple distance, et directement à la tangente du quart de l'angle que forment les deux portions obliques du fil.
214	12	d'un aimant, *lisez :* et d'un aimant.
230	26	électriques, *lisez :* chimiques.
245	14	les températures, *lisez :* les hautes températures.
251	38	des corps imparfaits, *lisez :* des corps conducteurs imparfaits.
271	21	semble, *lisez :* sensible.
273	8	tont, *lisez :* dont.
281	33	le courant, *lisez :* ce mouvement.
283	14	au-dessous, *lisez :* au-dessus.
285	17	mis, *lisez :* fut mis.
296	1	M. Pelletier, *lisez :* M. Peltier.
297	5	*Idem.* *Idem.*
318	38	observations, *lisez :* recherches.
319	23	philosophe, *lisez :* philosophique.
330	30	je me suis livré, *lisez :* je me livre.
333	19	de sodium, *lisez :* de chlorure de sodium.

Pages.	Lignes.	
336	11	le second en déterminant, *lisez :* le second en opérant la décomposition de l'hypo-sulfite alcalin.
343	37	j'ai pensé, *lisez :* j'ai supposé.
346	22	la théorie, *lisez :* cette théorie.
370	37	march, *lisez :* marche.
Idem.	38	cett, *lisez :* cette.
440	27	et la chaleur, *lisez :* et que la chaleur.
455	16	qui provient, *lisez :* qui produit.
475	31	hoiulle, *lisez :* houille.
495	5	devait, *lisez :* donnait.
522	19	un gaze, *lisez :* un gaz.
522	38	le gaze, *lisez :* le gaz.
543	23	qui adhère, *lisez :* qui adhèrent.

